

**FABIANO WANG YUAN TZUU  
VITOR THOMAZ DA CRUZ**

**AVALIAÇÃO DA ABSORÇÃO DE IMPACTO DE  
CAPACETES DE BICICLETA EM RELAÇÃO À  
REGULAMENTAÇÃO BRASILEIRA**

Trabalho apresentado à Escola Politécnica  
da Universidade de São Paulo para obtenção  
do Título de Engenheiro Mecatrônico.

Área de Concentração:

Laboratório de Impacto de Estruturas  
GMSIE

Orientador:

Prof. Dr. Marcílio Alves

São Paulo  
2021

# AGRADECIMENTOS

Nosso profundo agradecimento ao Prof. Dr. Marcílio Alves pelo apoio e liberação do Laboratório de Impactos de Estruturas GMSIE e seus equipamentos para a realização dos ensaios propostos. Agradecemos, também, a Erick Reis, que nos auxiliou durante a montagem do sistema. Aos nossos amigos e familiares, que nos acompanharam durante essa jornada, nossa eterna gratidão.

Por fim, a Roberto, um até breve.



*“It ain’t what you don’t know that gets you into trouble. It’s what you know for sure that just ain’t so.”*

-- Mark Twain

# RESUMO

Este trabalho realiza a avaliação de cinco modelos de mercado de capacetes de bicicleta frente aos ensaios de absorção de impacto previstos pela regulamentação brasileira, descrita na norma ABNT NBR 16175 [1]. O ensaio consiste em uma queda livre, em condições controladas, de uma cabeça de aço vestindo o capacete analisado, até se chocar com uma das duas bases: a primeira plana, e a segunda com um formato que assemelha-se a um meio-fio. Dos cinco capacetes comprados, três possuíam certificações pela norma europeia EN1078 [2] – de qual a brasileira segue à risca o ensaio e critério de sucesso –, enquanto dois dos equipamentos não eram certificados. Os certificados obtiveram resultados positivos em ambos os testes; quanto aos outros, um teve um desempenho satisfatório, passando em um dos testes, mas chegando bem perto de ser aprovado no outro, todavia o outro apresentou uma performance péssima no primeiro ensaio, a ponto de não ser realizado o segundo.

**Palavras-Chave** – Capacete de bicicleta, absorção de impacto, ABNT NBR 16175.

# ABSTRACT

This work evaluates five bicycle helmet market models in the face of impact absorption tests provided for by Brazilian regulations, described in ABNT NBR 16175 [1]. The test consists of a free fall, under controlled conditions, of a steel head wearing the analyzed helmet, until it collides with one of the two bases: the first flat, and the second with a shape that resembles a curb . Of the five helmets purchased, three were certified by the European standard EN1078 [2] – the Brazilian standard strictly following the test and success criterion – while two of the equipment were not certified. Certificates scored positive on both tests; as for the others, one had a satisfactory performance, passing one of the tests, but coming very close to being approved in the other, however the other had a terrible performance in the first test, to the point of not being carried out in the second.

**Keywords** – Bicycle helmet, shock absorption, ABNT NBR 16175.

# LISTA DE FIGURAS

1	Lista das atividades físicas mais praticadas em 2013, feita no Diagnóstico Nacional do Esporte. Extraído do Ministério do Esporte [3] . . . . .	14
2	Esquema com os equipamentos de proteção ao ciclista. Extraído da Globo [4] . . . . .	15
3	Seção da cabeça de ensaio no plano vertical longitudinal. Extraído da ABNT[5] . . . . .	18
4	Seção da cabeça de ensaio no plano de referência. Extraído da ABNT[5] . .	19
5	Exemplo de capacete com trava traseira de ajuste interna. Extraído da EricBike. . . . .	19
6	Marcação de referências no capacete e na cabeça de ensaio. Extraído da ABNT[5] . . . . .	21
7	Corte X-X para observação da marcação dos pontos B1 e B2. Extraído da ABNT[5] . . . . .	21
8	Bases de impactos utilizadas . . . . .	26
9	Equipamento de ensaio previsto pela norma ABNT NBR 16175 [1]. . . . .	27
10	Partes do sistema montado para o ensaio de impacto. . . . .	29
11	Montagem do acelerômetro no suporte. . . . .	30
12	Condicionador de sinal montado. . . . .	30
13	Sistema de medição de carga na base. . . . .	31
14	Sensor de proximidade para cálculo da velocidade de impacto. . . . .	31
15	Extensão da plataforma. . . . .	32
16	Placa de captação montada. . . . .	32
17	Sistema montado para o ensaio de absorção de impacto. . . . .	33
18	Esquema da captação dos sinais provenientes do acelerômetro, célula de carga e sensores de proximidade. . . . .	33

19	<i>Frames</i> captados pela câmera de alta velocidade no impacto do capacete 1 com base plana. . . . .	35
20	Sinais dos sensores de proximidade. . . . .	36
21	Sinais obtidos pelo acelerômetro no impacto do capacete com a superfície plana. . . . .	37
22	Sinal obtido pelo medidor de carga no impacto do capacete com a superfície plana. . . . .	37
23	Acelerações obtidas no impacto do capacete com a superfície plana. . . . .	38
24	<i>Frames</i> captados pela câmera de alta velocidade no impacto do capacete 2 com base plana. . . . .	39
25	Sinais dos sensores de proximidade. . . . .	39
26	Sinais obtidos pelo acelerômetro no impacto do capacete com a superfície plana. . . . .	40
27	Sinal obtido pelo medidor de carga no impacto do capacete com a superfície plana. . . . .	40
28	Acelerações obtidas no impacto do capacete com a superfície plana. . . . .	41
29	<i>Frames</i> captados pela câmera de alta velocidade no impacto do capacete 3 com base plana. . . . .	42
30	Sinais dos sensores de proximidade. . . . .	42
31	Sinais obtidos pelo acelerômetro no impacto do capacete com a superfície plana. . . . .	43
32	Sinal obtido pelo medidor de carga no impacto do capacete com a superfície plana. . . . .	43
33	Acelerações obtidas no impacto do capacete com a superfície plana. . . . .	44
34	<i>Frames</i> captados pela câmera de alta velocidade no impacto do capacete 4 com base plana. . . . .	45
35	Sinais dos sensores de proximidade. . . . .	45
36	Sinais obtidos pelo acelerômetro no impacto do capacete com a superfície plana. . . . .	46

37	Sinal obtido pelo medidor de carga no impacto do capacete com a superfície plana. . . . .	46
38	Acelerações obtidas no impacto do capacete com a superfície plana. . . . .	47
39	<i>Frames</i> captados pela câmera de alta velocidade no impacto do capacete 5 com base plana. . . . .	48
40	Sinais dos sensores de proximidade. . . . .	48
41	Sinais obtidos pelo acelerômetro no impacto do capacete com a superfície plana. . . . .	49
42	Sinal obtido pelo medidor de carga no impacto do capacete com a superfície plana. . . . .	49
43	Acelerações obtidas no impacto do capacete com a superfície plana. . . . .	50
44	Capacete 5 após o impacto com a superfície plana. . . . .	50
45	<i>Frames</i> captados pela câmera de alta velocidade no impacto do capacete 1 com base simuladora de meio-fio. . . . .	52
46	Sinais dos sensores de proximidade. . . . .	53
47	Sinais obtidos pelo acelerômetro no impacto do capacete com a superfície simuladora de meio-fio. . . . .	53
48	Sinal obtido pelo medidor de carga no impacto do capacete com a superfície simuladora de meio-fio. . . . .	54
49	Acelerações obtidas no impacto do capacete com a superfície simuladora de meio-fio. . . . .	54
50	<i>Frames</i> captados pela câmera de alta velocidade no impacto do capacete 2 com base simuladora de meio-fio. . . . .	55
51	Sinais dos sensores de proximidade. . . . .	56
52	Sinais obtidos pelo acelerômetro no impacto do capacete com a superfície simuladora de meio-fio. . . . .	56
53	Sinal obtido pelo medidor de carga no impacto do capacete com a superfície simuladora de meio-fio. . . . .	57
54	Acelerações obtidas no impacto do capacete com a superfície simuladora de meio-fio. . . . .	57

55	<i>Frames</i> captados pela câmera de alta velocidade no impacto do capacete 3 com base simuladora de meio-fio. . . . .	58
56	Sinais dos sensores de proximidade. . . . .	59
57	Sinais obtidos pelo acelerômetro no impacto do capacete com a superfície simuladora de meio-fio. . . . .	59
58	Sinal obtido pelo medidor de carga no impacto do capacete com a superfície simuladora de meio-fio. . . . .	60
59	Acelerações obtidas no impacto do capacete com a superfície simuladora de meio-fio. . . . .	60
60	<i>Frames</i> captados pela câmera de alta velocidade no impacto do capacete 4 com base simuladora de meio-fio. . . . .	61
61	Sinais dos sensores de proximidade. . . . .	62
62	Sinais obtidos pelo acelerômetro no impacto do capacete com a superfície simuladora de meio-fio. . . . .	62
63	Sinal obtido pelo medidor de carga no impacto do capacete com a superfície simuladora de meio-fio. . . . .	63
64	Acelerações obtidas no impacto do capacete com a superfície simuladora de meio-fio. . . . .	63

## LISTA DE TABELAS

1	Tamanhos das cabeças de ensaio para impacto. Extraído da ABNT[5] . . .	20
2	Sequência de ensaios realizados com cada tipo de capacete. Extraído da ABNT[5] . . . . .	20
3	Capacetes adquiridos para os testes. . . . .	28
4	Valores obtido nos testes com a superfície plana. . . . .	51
5	Valores obtido nos testes com o simulador de meio-fio. . . . .	64
6	Resultados obtidos para os testes com superfícies plana e simuladora de meio-fio. . . . .	64
7	Classificação final dos capacetes ensaiados . . . . .	68



# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>13</b>
1.1	A relevância do ciclismo . . . . .	13
1.2	Acidentes relacionados a ciclismo . . . . .	14
1.3	Equipamentos de proteção para ciclistas . . . . .	15
<b>2</b>	<b>Regulamentação</b>	<b>17</b>
2.1	Norma brasileira - ABNT NBR 16175 . . . . .	17
2.1.1	Normas europeia e estadunidense . . . . .	23
<b>3</b>	<b>Metodologia</b>	<b>25</b>
3.1	Escopo do projeto . . . . .	25
3.2	Requisitos . . . . .	25
3.3	Ensaios . . . . .	26
3.4	Avaliação . . . . .	27
3.5	Modelos de mercado . . . . .	27
<b>4</b>	<b>Desenvolvimento</b>	<b>29</b>
4.1	Estruturação do sistema . . . . .	29
4.1.1	Componentes . . . . .	29
4.1.2	Sistema . . . . .	33
4.1.3	Gravação dos ensaios . . . . .	34
4.2	Ensaios . . . . .	34
4.2.1	Impacto em superfície plana . . . . .	34
4.2.1.1	Capacete 1 . . . . .	34
4.2.1.2	Capacete 2 . . . . .	38

4.2.1.3	Capacete 3 . . . . .	41
4.2.1.4	Capacete 4 . . . . .	44
4.2.1.5	Capacete 5 . . . . .	47
4.2.1.6	Resumo . . . . .	51
4.2.2	Impacto em simulação de meio-fio . . . . .	51
4.2.2.1	Capacete 1 . . . . .	52
4.2.2.2	Capacete 2 . . . . .	55
4.2.2.3	Capacete 3 . . . . .	58
4.2.2.4	Capacete 4 . . . . .	61
4.2.2.5	Capacete 5 . . . . .	63
4.2.2.6	Resumo . . . . .	64
4.3	Avaliação e comparação . . . . .	64
<b>5</b>	<b>Discussão</b>	<b>65</b>
<b>6</b>	<b>Conclusão</b>	<b>67</b>
	<b>Referências</b>	<b>69</b>
	<b>Apêndice A – Códigos em MATLAB</b>	<b>71</b>
A.1	Aquisição e tratamento de dados . . . . .	71
A.2	Cálculos com os sinais obtidos . . . . .	73

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 A relevância do ciclismo

As primeiras bicicletas começaram a ser comercializadas no Brasil na década de 1870. No início, por serem pouco acessíveis, eram itens que ficavam restritos apenas às elites [6]. Isso perdurou até o final da década de 1940. O que acentuava essa ausência era a carência de uma indústria nacional de bicicletas, impedindo a sua difusão e o seu barateamento [6]. No contexto de estímulo à indústria nacional de bicicletas no cenário da Segunda Guerra Mundial, foi inaugurada em 1945 a primeira fábrica nacional de bicicletas pela Caloi, seguido por mais de outros 30 marcas [6].

Passando por períodos de crise, principalmente durante o golpe militar e as reformas na economia, e após o fechamento de diversas fábricas, a indústria reaqueceu. Assim, o Brasil foi capaz de atingir a marca de 3º maior produtor de bicicletas no mundo e ser o 5º maior consumidor em 2009[7].

Em 2013, o Ministério do Esporte fez um estudo chamado de "Diagnóstico Nacional do Esporte" que apontou que andar de bicicleta foi considerado a segunda atividade física mais praticada no ano [3]. Mas mesmo sendo bastante praticada, ainda existia muito espaço para potencial crescimento. Isso pois, de acordo com a Abraciclo - Associação Brasileira dos Fabricantes de Motocicletas, Ciclomotores, Motonetas, Bicicletas e Similares, até aproximadamente 2015, cerca de 70 milhões de bicicletas foram produzidas [8], e podendo afirmar que, na época, cerca de 2/3 da população brasileira ainda não possuía uma bicicleta [6].

Em complemento, observou-se um crescimento do uso de bicicletas nos últimos anos, em especial como forma de meio de transporte alternativo ou desportivamente, com destaque para o período da pandemia. Isso foi resultado da implementação de políticas públicas, do aumento do planejamento urbano e mudanças no Código Nacional de Trânsito [9]. Em acréscimo, durante a pandemia, com aumento do serviço de delivery e a prática esportiva do ciclismo respeitando o distanciamento e em locais abertos, observou-se um aumento

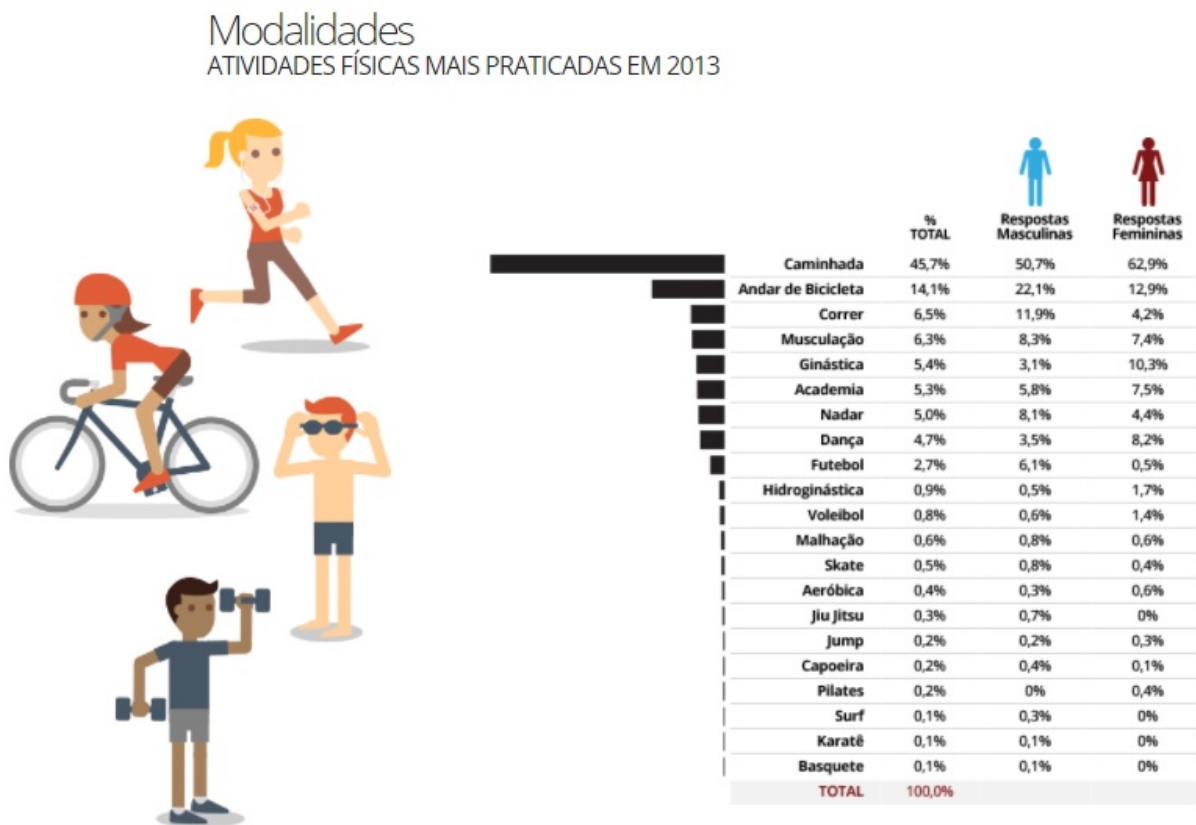


Figura 1: Lista das atividades físicas mais praticadas em 2013, feita no Diagnóstico Nacional do Esporte. Extraído do Ministério do Esporte [3]

no setor [10]. De acordo com pesquisas feitas pela Semexe, plataforma online de compra e venda de produtos novos e usados relacionados a ciclismo, realizada em Setembro de 2020, o ciclismo foi apontado como um dos esportes que apresentou maior crescimento durante a pandemia, além de ser considerado como um dos mais seguros [11]. Tudo isso é reafirmado com a alta de 50% nas vendas de bicicletas no Brasil em 2020, comparado a 2019, de acordo com pesquisa realizada pela Associação Aliança Bike, feita com múltiplos lojistas [12].

## 1.2 Acidentes relacionados a ciclismo

Acompanhado do crescimento do uso de bicicletas, houve também um aumento no número de acidentes envolvendo os mesmos. Segundo a Agência Brasil, o número de atendimentos hospitalares de ciclistas cresceu 57% entre 2010 e 2019. Nesse mesmo período, 13.718 ciclistas faleceram após se envolverem em algum acidente no trânsito, sendo que 60% desses casos foram atropelamentos [13]. Ainda, a Infosiga registrou no estado de São Paulo entre Janeiro e Julho de 2020 o maior número de mortes de ciclistas nos últimos

5 anos. Além disso, o número de acidentes fatais envolvendo bicicletas aumentou quase 10% de 2019 para 2020 [13]. Esse aumento pode ser justificado pelo aumento do número de ciclistas e, principalmente ciclistas novos, que ainda não estão acostumados com a dinâmica do ciclismo em regiões urbanas, em coexistência com o trânsito tradicional de carros e motocicletas.

### 1.3 Equipamentos de proteção para ciclistas

Por conta do crescimento do uso de bicicletas e, conseqüentemente do número de acidentes, é primordial o uso de equipamentos de segurança. Os principais são o uso de cotoveleiras, joelheiras e capacete (Figura 2). Aqui, trataremos de questões acerca de capacetes de bicicletas, suas limitações, normas que os envolvem. Dado o crescimento de acidentes envolvendo ciclistas, o uso de capacete mostra-se fundamental no quesito segurança. Portanto, o estudo acerca da qualidade desses equipamentos e certificações é essencial para garantir o bem-estar dos mesmos.

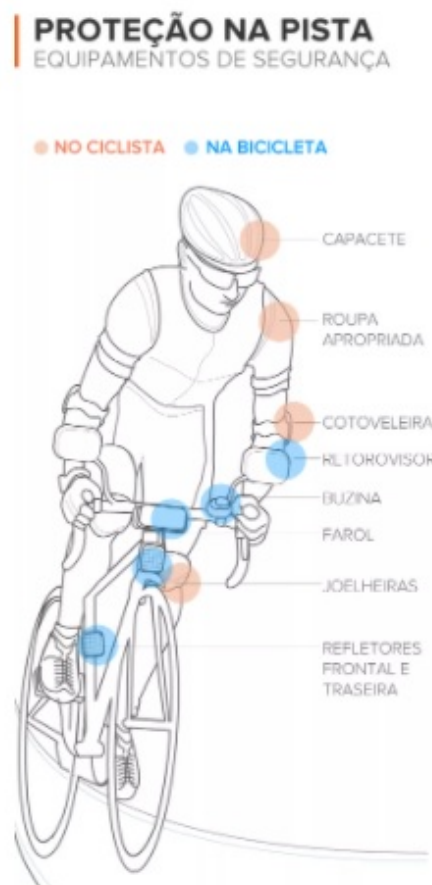


Figura 2: Esquema com os equipamentos de proteção ao ciclista. Extraído da Globo [4]

O capacete tem função de minimizar o risco de ferimento na cabeça em caso de acidentes. Uma porção da energia de impacto é absorvida pelo capacete, reduzindo dessa forma a energia transmitida para o crânio e órgãos em seu interior. Durante esse processo, estruturas internas do capacete provavelmente são danificadas e, portanto, é importante que o usuário troque o atual capacete por um novo (mesmo que não haja danificação visível).

## 2 REGULAMENTAÇÃO

Surpreendentemente, o uso de capacetes de proteção durante a prática do ciclismo não é obrigatória no Brasil. O Código de Trânsito Brasileiro não prevê ou especifica a utilização deste equipamento de segurança; o Artigo 105 estabelece quais são os equipamentos obrigatórios veiculares e, mais especificamente, o Item IV trata das bicicletas, citando apenas “(...) a campainha, sinalização noturna dianteira, traseira, lateral e nos pedais, e espelho retrovisor do lado esquerdo”.

Mesmo em um contexto de insegurança e potenciais acidentes graves, é comum que o uso do equipamento seja negligenciado. A fiscalização é impossibilitada, segundo o Departamento Nacional de Trânsito, devido à não existência de registro de bicicletas – diferentemente de motocicletas, por exemplo.

Por mais passível que sejam as exigências acerca dos capacetes de bicicleta, faz-se necessário ainda que seja fiscalizada a eficiência do equipamento em cumprir com seu objetivo: proteger o ciclista. O Brasil, hoje, adota a norma ABNT NBR 16175 [1] para validar a qualidade dos capacetes produzidos no país.

### 2.1 Norma brasileira - ABNT NBR 16175

A regulamentação dos capacetes de bicicleta brasileira é uma derivação da norma europeia EN 1078 [2], que é tida como padrão mundial. Muitos dos capacetes vendidos no Brasil, inclusive, são certificados pela norma da Europa, como será verificado à frente.

Tratando-se da performance do equipamento em prevenir danos à cabeça do ciclista em um acidente, ambas as normas estabelecem os mesmos requisitos, testes e limitações. A seguir, será tratada a norma brasileira.

São citados seis requisitos para a construção de um capacete de bicicleta, relacionados a: (i) Materiais, (ii) Construção, (iii) Campo de Visão, (iv) Capacidade de absorção de impactos, (v) Resistência e (vi) Sistema de Fixação. Primeiramente, relativamente

aos (i) Materiais, os materiais utilizados nas diferentes partes do capacete não podem sofrer significativa alteração ou deterioração por conta do envelhecimento, por conta de circunstâncias normalmente previstas (como sol, chuva e variação de temperatura) ou por conta do suor ou contato com substâncias de limpeza.

Na (ii) Construção do capacete, deve-se obter um equipamento com peso reduzido, com capacidade de ventilação interna, que possa ser colocado e retirado da cabeça facilmente, permitir a utilização de óculos de proteção quando vestido e não afetar a capacidade auditiva do usuário. Além disso, as partes do capacete não devem causar lesões no ciclista durante o seu uso.

O (iii) Campo de Visão do ciclista não deve ser ocultado pelo capacete. os ângulos limite permitidos são:  $25^\circ$  acima do campo de referência,  $45^\circ$  abaixo do plano básico e  $105^\circ$  para a esquerda e direita do plano médio vertical longitudinal, como mostrado nas Figuras 3 e 4 a seguir.

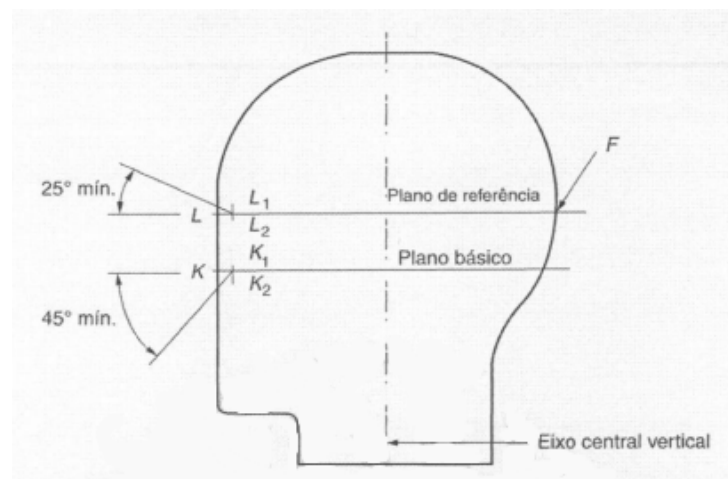


Figura 3: Seção da cabeça de ensaio no plano vertical longitudinal. Extraído da ABNT[5]

Capacetes possuem como principal funcionalidade a (iv) Capacidade de absorver impactos, provendo proteção nas partes frontal, posterior, laterais da cabeça e topo. Esse tópico é o principal foco desse estudo, e será aprofundado de forma mais detalhada mais adiante. Em relação à (v) Resistência, após o capacete ser submetido a um impacto (ou ao ensaio de impacto), ele não deve apresentar partes que possam potencialmente causar lesões ao usuário, como partes pontiagudas ou afiadas.

No (vi) Sistema de Fiação, as cintas de fixação não podem ter menos de 15mm de largura. Além do mesmo, outros elementos de fixação são permitidos, almejando fixar o capacete e maior conforto do usuário. Elementos pertencentes ao (vi) Sistema de Fixação devem possuir um meio de ajuste e manutenção da tensão, possibilitando a abertura



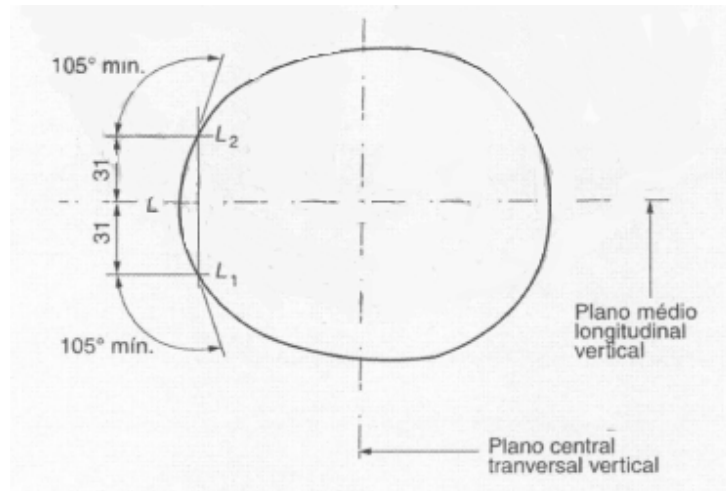


Figura 4: Seção da cabeça de ensaio no plano de referência. Extraído da ABNT[5]

apenas pelo usuário. A abertura de qualquer parte do Sistema de Fixação deve poder ser feita apenas com uma mão. Um outro exemplo de elemento que incorpora o (iv) Sistema de Fixação é a trava traseira de ajuste interna, indicada na figura abaixo.



Figura 5: Exemplo de capacete com trava traseira de ajuste interna. Extraído da EricBike.

Além dos requisitos necessários para os capacetes, a norma também detalha o processo de ensaio de capacetes. Primeiro, os capacetes a serem ensaiados devem ser classificados e identificados por uma Letra Código de acordo com o tamanho interior do capacete, como indicado na tabela 1. Cada letra corresponde a um tamanho de cabeça de ensaio diferente.

Depois, para cada tipo de capacete (mesma marca, tamanho e componentes), é analisada uma amostra com quatro unidades, numeradas de 1 a 4 – a quarta mantida intacta para controle. Os capacetes são submetidos aos ensaios ilustrados na tabela 2.

Em seguida, são marcadas sobre o capacete e a cabeça de ensaio alguns pontos de referência. Primeiro, é marcado o ponto F, na parte de trás da cabeça, sobre o Plano de

Letra Código	Circunferência interior do capacete [mm]
A	500
C	520
E	540
B	560
K	580
M	600
O	620

Tabela 1: Tamanhos das cabeças de ensaio para impacto. Extraído da ABNT[5]

Realização do ensaio	Sequência de ensaios	Número do corpo de prova		
Eficiência do sistema de fixação	Primeiro	1	-	-
Capacidade de absorção a impactos	Segundo	1	2	3
Resistência do sistema de fixação	Terceiro	-	2	3

Tabela 2: Sequência de ensaios realizados com cada tipo de capacete. Extraído da ABNT[5]

Referência. Os pontos A e A' estão sobre o plano localizado a 1,27mm acima do Plano de Referência, sendo o ponto A na parte frontal da cabeça e A' na parte traseira.

É de suma importância pontuar que esse plano onde estão localizados A e A' não estão definidos explicitamente na norma da ABNT. Esses pontos foram definidos na norma EN 960. Como a norma brasileira foi totalmente baseada na norma europeia, o ponto A foi localizado baseado na norma EN 1078, que faz referência à norma de cabeças feitas para testes de capacete EN 960.

Dando continuidade, marca-se o ponto B, localizado no ponto médio entre A' e F. Com essas referências marcadas, coloca-se o capacete sobre a cabeça de ensaio, e aplica-se uma carga de 5kg na parte superior do capacete para que haja o encaixe. Na parte externa do capacete, é traçado o plano paralelo ao Plano de Referência que envolve os pontos A e A'. Também traça-se um outro plano que envolve A e A'. Esse é utilizado como referência do deslocamento angular. Desenha-se também os pontos B' e B2 na parte externa do capacete. Eles são a projeção lateral do ponto B que está desenhado na cabeça de ensaio. Por fim, traça-se o plano RR' que passa por B1 e B2 e forma um ângulo de  $10^\circ$  com a linha de referência do deslocamento angular. Um esquema dos pontos e planos desenhados está detalhado nas figuras abaixo:



A área do capacete acima do plano  $RR'$  é a área destinada para ensaios de impactos utilizando uma superfície plana, e a área acima da linha  $RWA$  é a área destinada para ensaio de impactos sobre um maio-fio, sendo  $W$  o ponto de intersecção entre o plano  $RR'$  e  $AA'$ .

Da amostra de capacetes que será submetida a ensaios, dois têm suas temperaturas alteradas. O capacete 1 é exposto a uma temperatura de  $50 \pm 2$  °C por um período de 4h a 6h. O capacete 2 é exposto a uma temperatura de  $-20 \pm 2$  °C por um período de 4h a 6h.

A diante, após as preparações mencionadas, pode-se seguir para o ensaio em si. o equipamento de ensaio descrito na norma da ABNT é composto por um bloco de impacto rigidamente fixo a uma base, um sistema de guia de queda livre, um sistema móvel de suporte da cabeça de ensaio com capacete, uma cabeça de ensaio de metal que tenha incorporado um acelerômetro tridirecional, um sistema de registro e acondicionamento do sinal de saída do acelerômetro e um sistema mediante o qual o ponto de impacto possa coincidir com o centro do bloco de impacto. Os equipamentos estão mostrados na figura 9.

De forma mais detalhada, a base na qual todos os equipamentos se apoiam deve ser monolítica, feita de aço, concreto ou uma mistura de ambos e possuir mais de 500kg. Isso pois a base e o bloco não podem possuir frequência de ressonância que afete as medições. A base para impactos no plano deve de aço, possuindo uma superfície plana com uma área de impacto circular de  $130 \pm 3$  mm de diâmetro. A base para impactos simulando o meio-fio possui duas faces, cada uma com inclinação em relação à vertical de  $52.5 \pm 2.5^\circ$ , unidas por uma borda de impacto com raio de  $15 \pm 0.5$  mm, Em ambos os casos, a altura do bloco não pode ser inferior a 50mm e a largura não pode ser inferior a 125mm.

O sistema móvel e as guias restringem o capacete de forma a conseguir apenas se mover na direção vertical, sem afetar a medição da aceleração no centro de gravidade da cabeça de ensaio. Ainda, é preciso que qualquer ponto de impacto na área de ensaio possa ser colocado verticalmente sobre o centro do bloco de impacto.

O acelerômetro deve ser capaz de medir acelerações de até 2000g, e deve possuir no máximo 50 gramas. É preciso que o sistema de medição possa registrar a velocidade da cabeça de ensaio. A resposta em frequência deve seguir a classe de canal de frequência (CFC) 1000 da ISO 6487.

Posteriormente, a cabeça de ensaio deve ser acoplada a um capacete. O primeiro

ensaio deve ser realizado dentro de 1 minuto após a retirada do capacete da câmara de condicionamento, e os impactos seguintes não podem ultrapassar 3 minutos após a retirada. Os impactos devem ocorrer de modo a simular a situação mais desfavorável possível. Dessa forma, os impactos devem ser realizados nos pontos mais frágeis e vulneráveis dentro da área de ensaio (orifícios de ventilação, fivelas de sustentação ou suporte dos tecidos). O ponto de impacto de cada amostra deve estar separado por no mínimo 150mm ao longo da corda. Caso não exista material do capacete no local de impacto, o material adjacente deve suportar a energia de impacto. Por fim, a velocidade da cabeça de ensaio com o capacete deve ser medida a uma distância não superior a 60mm, antes de ser realizado o impacto, com precisão de 1%. O pico de aceleração dos impactos não deve ser superior a 250g para uma velocidade de 5.42m/s sobre a base plana e 4.57m/s sobre a base de meio-fio (teoricamente, são velocidades equivalentes a uma queda de 1497mm e 1064mm, respectivamente). Em termos de energia, esses valores são correspondentes a 58.75J e 41.77J, respectivamente para o plano e para o meio-fio.

Em seguida, a ABNT faz a determinação da facilidade de abertura do sistema de fixação e a determinação da eficiência do sistema de fixação. Ambos não estão dentro do escopo do presente projeto. Mas vale lembrar que são quesitos igualmente importantes no escopo da segurança do usuário.

Por fim, a norma obriga que os fabricantes forneçam de forma explícita as seguintes informações: se o capacete fornece proteção apenas se estiver posicionado de forma correta na cabeça e que o comprador deve experimentar diferentes tamanhos; o capacete deve estar posicionado de forma que as correias não cubram as orelhas e a fivela não apoiada no queixo; o capacete deve ser vestido de forma a proteger a testa, sem escorregá-lo para a nuca; o capacete é construído de forma a absorver a energia dos impactos através da sua própria destruição parcial ou total; o capacete deve ser substituído após um impacto violento; alerta para que não sejam feitas modificações nos componentes do capacete sem a recomendação do fabricante.

### **2.1.1 Normas europeia e estadunidense**

A EN 1078 é a norma da União Europeia em relação a capacetes para usuários de bicicleta, skate e patins. Como já mencionado, a norma brasileira e europeia são extremamente semelhantes. Mas nota-se que a norma europeia possui alguns detalhes a mais, como Anexos de detalhamento de como simular o processo de envelhecimento, utilizando irradiação ultravioleta.

Os Estados Unidos utilizam como base a norma Snell B-95 para bicicletas. São mencionados conceitos bastante similares comparados aos mencionados acima, como marcações, características da cabeça para ensaio, posicionamento, visão periférica, variação de temperatura e ensaio do sistema de fixação.

Em relação aos testes de impacto, a Snell B-95 afirma um máximo de 4 testes por capacete. A norma estadunidense menciona 3 tipos de teste: (i) impacto em perfil plano. O impacto deve ocorrer com uma energia total de 110J; (ii) impacto em perfil hemisférico. O impacto deve ocorrer com uma energia total de 72J; e (iii) impacto em perfil de meio-fio. O impacto deve ocorrer com uma energia total de 72J. Importante notar que a norma define a energia de impacto como a energia cinética do sistema (cabeça + suporte), podendo ignorar a massa do capacete. Os três testes, são feitos com cabeças de 5kg, e ensaios onde a energia total exceda 3% do descrito devem ser desconsiderados. Também, para todos os ensaios, a aceleração máxima não pode ultrapassar 300g.

## 3 METODOLOGIA

### 3.1 Escopo do projeto

Tendo em vista tanto o contexto de não obrigatoriedade da utilização do equipamento de segurança, quanto a norma para a regulamentação dos mesmos, propõe-se um estudo comparativo acerca da efetividade de cinco diferentes modelos de mercado em absorver um impacto decorrente de um acidente.

Para tal, seguiram-se especificações descritas pelo ensaio de “Determinação da capacidade de absorção a impactos”, proveniente do item 5.4 da norma ABNT NBR 16175.

Com os resultados, espera-se concluir se os capacetes certificados de fato apresentam uma performance satisfatória, bem como se os não certificados demonstram alguma forma válida de proteção ao indivíduo.

### 3.2 Requisitos

Para realizar o ensaio de absorção de impactos descrito na norma, faz-se necessária a montagem de um sistema que permita a queda vertical de uma cabeça metálica, bem como a presença de um acelerômetro tridirecional para a medição da aceleração máxima apresentada após o impacto.

Ademais, será necessário realizar, para cada modelo, dois testes: um com uma base monolítica de aço plana, com diâmetro de  $130 \pm 3$  mm, e outra parecendo um meio-fio, com duas faces inclinadas a  $52.5 \pm 2.5^\circ$  unidas por uma borda de impacto com raio de  $15 \pm 0.5$  mm, além de altura e largura não inferiores a 50 mm e 125 mm, respectivamente.

Na iminência do choque, a velocidade do corpo deve ser 5.42 m/s para o ensaio com a base plana (correspondendo, teoricamente, a uma altura de 1497 mm), e 4.57 m/s (1064 mm) para o ensaio com a base simulando um meio-fio.

O acelerômetro deve ser capaz de medir acelerações de até 2000 *g*, com uma massa

igual ou menor a 50 g.

### 3.3 Ensaios

O primeiro ensaio consiste em medir a desaceleração da cabeça mediante a um impacto com uma superfície plana, como visto na figura 8a. O segundo, por outro lado, tem o objetivo de simular um impacto com um meio-fio, e para isso utilizou-se a base ilustrada na figura 8b.



(a) Superfície plana



(b) Superfície simuladora de meio-fio

Figura 8: Bases de impactos utilizadas

Ambos os ensaios utilizam o mesmo equipamento, conforme descrito na seção 5.4.3.1 da norma. Este, por sua vez, está ilustrado na figura 9 e consiste em:

- i um bloco de impacto rigidamente fixo a uma base;
- ii um sistema de guia de queda livre;
- iii um sistema móvel de suporte da cabeça de ensaio com capacete;
- iv uma cabeça de ensaio de metal que tenha incorporado um acelerômetro tridirecional;
- v um sistema de registro e acondicionamento do sinal de saída do acelerômetro;



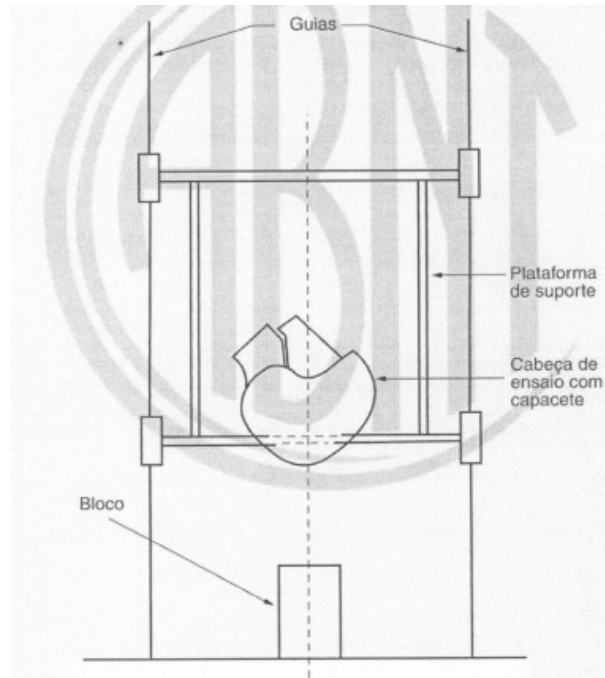


Figura 9: Equipamento de ensaio previsto pela norma ABNT NBR 16175 [1].

Para cada um dos capacetes, será feito dois testes, um para cada superfície de ensaio. Conforme a norma, as velocidades de impacto com o plano e o meio-fio devem ser, respectivamente, 5.42 m/s e 4.57 m/s.

### 3.4 Avaliação

De acordo com a norma, o critério para que a absorção do impacto seja considerada bem sucedida é a desaceleração da cabeça obter um pico inferior a 250 vezes a aceleração gravitacional local.

### 3.5 Modelos de mercado

Foram adquiridos cinco capacetes para que fosse feita a avaliação de performance no ensaio de absorção de impacto. Buscou-se obter capacetes de diferentes faixas de preço, bem como incluir tanto equipamentos que possuíssem certificação quanto produtos não certificados. O sexto capacete trata-se de um item usado, cedido para ser utilizado como teste em meio à montagem do sistema, por isso, não constam informações acerca do mesmo.

Identificação	Modelo	Preço	Certificação	Massa
1	Van—Rysel Road500	R\$205.33	EN 1078 [2]	328.6 g
2	High one Mtb Win	R\$116.70	EN 1078 [2]	201.1 g
3	Atrio Mtb 2.0	R\$109.33	EN 1078 [2]	201.8 g
4	Absolute Nero Mtb Speed	R\$98.90	-	192.0 g
5	Acte Sports A77	R\$74,87	-	115.3 g
6	-	-	-	-

Tabela 3: Capacetes adquiridos para os testes.

## 4 DESENVOLVIMENTO

### 4.1 Estruturação do sistema

#### 4.1.1 Componentes

Conforme ilustrado na figura 9, foi montado um sistema constituído por duas guias, uma plataforma de suporte (figura 11a), um suporte para o acelerômetro (figura 11b), a cabeça de aço (figura 10c) e um dos dois blocos da figura 10. As massas da cabeça e do conjunto plataforma e suporte são, respectivamente, 4 e 1.45 Kg.



(a) Plataforma de suporte.



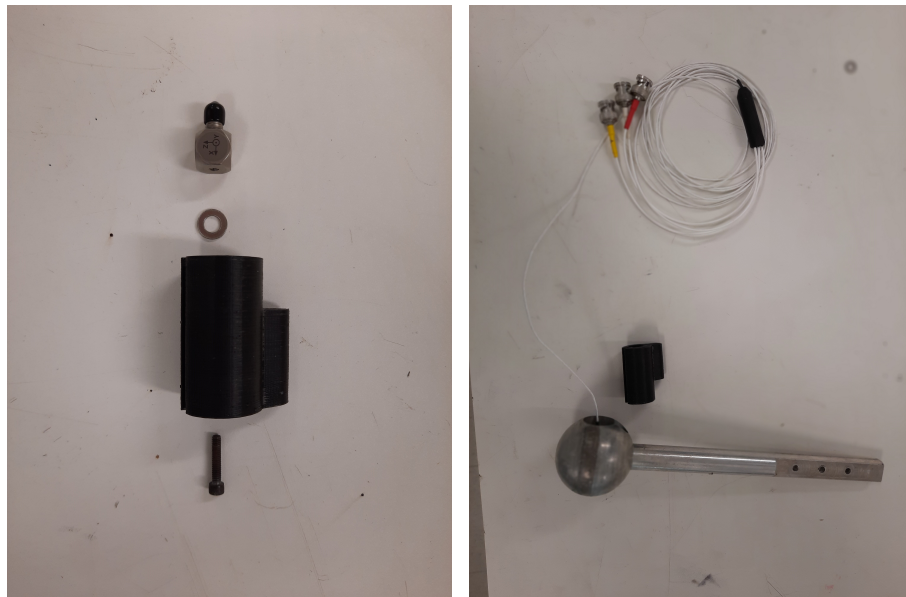
(b) Suporte do acelerômetro.



(c) Cabeça de aço.

Figura 10: Partes do sistema montado para o ensaio de impacto.

O acelerômetro foi encaixado no suporte mencionado acima por intermédio de uma guia, como indicado na figura 11. Montado, ele fica posicionado no centro de massa da cabeça, conforme requerido na norma. Por fim, o mesmo é ligado a um condicionador de sinal (figura 12). Para que o sinal da desaceleração no eixo vertical seja convertido de volts para  $g$  (aceleração da gravidade), é necessário multiplicar por  $5.06 \times 10^{-3}$  (constante informada pelo fabricante).



(a) Acelerômetro e sua guia.

(b) Acelerômetro montado.

Figura 11: Montagem do acelerômetro no suporte.

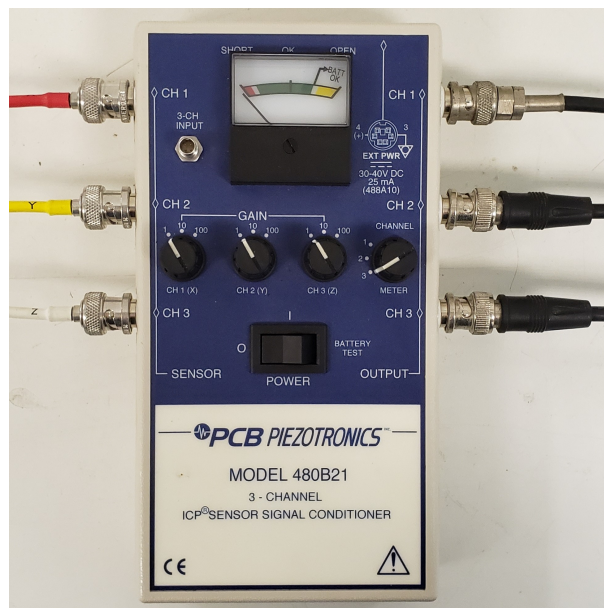


Figura 12: Condicionador de sinal montado.

Para servir de comparação ao sinal obtido de desaceleração no eixo vertical obtido pelo acelerômetro, foi acoplada uma célula de carga (13a) à base utilizada para o ensaio (figura 13b); a carga, então, é medida com um medidor (figura 13c) de faixa de operação configurada para 20V. Para obter a força referente ao impacto é necessário multiplicar a medição em volts por um fator – como o *range* é de 20V, o fator é 2.



(a) Célula de carga.



(b) Célula de carga montada.



(c) Medidor de carga.

Figura 13: Sistema de medição de carga na base.

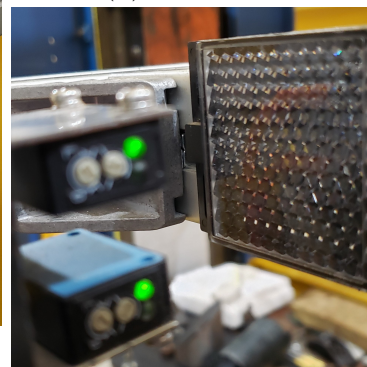
Como a velocidade na iminência do impacto deve seguir o valor estipulado na normal, utilizou-se dois sensores de proximidade, espaçados a uma distância conhecida de 24.1mm, ilustrados na figura 14a; a plataforma de suporte contém uma extensão (figura 15) que atravessa o espaço entre os sensores durante a queda, então é possível verificar a distancia em tempo entre a captação de um sensor em relação ao outro, obtendo assim a velocidade.



(a) Sensor de proximidade.



(b) Detalhe 1.



(c) Detalhe 2.

Figura 14: Sensor de proximidade para cálculo da velocidade de impacto.





Figura 15: Extensão da plataforma.

Finalmente, os sinais vindos do condicionador de sinal (X, Y e Z), do medidor de carga (F) e sensores de posição (V1 e V2) são ligados a uma placa de captação, que leva as medições ao computador, no qual um programa escrito em MATLAB faz o tratamento (apêndice A.1).



Figura 16: Placa de captação montada.

### 4.1.2 Sistema

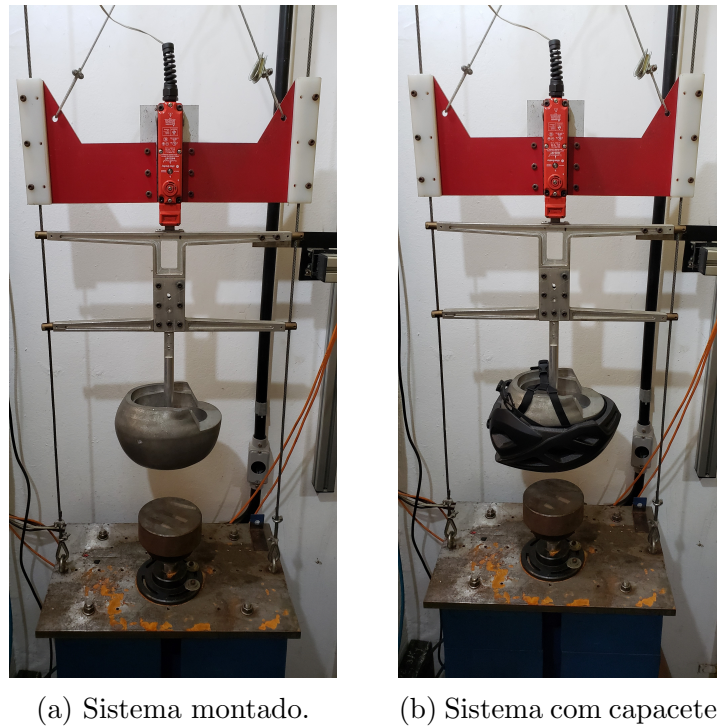


Figura 17: Sistema montado para o ensaio de absorção de impacto.

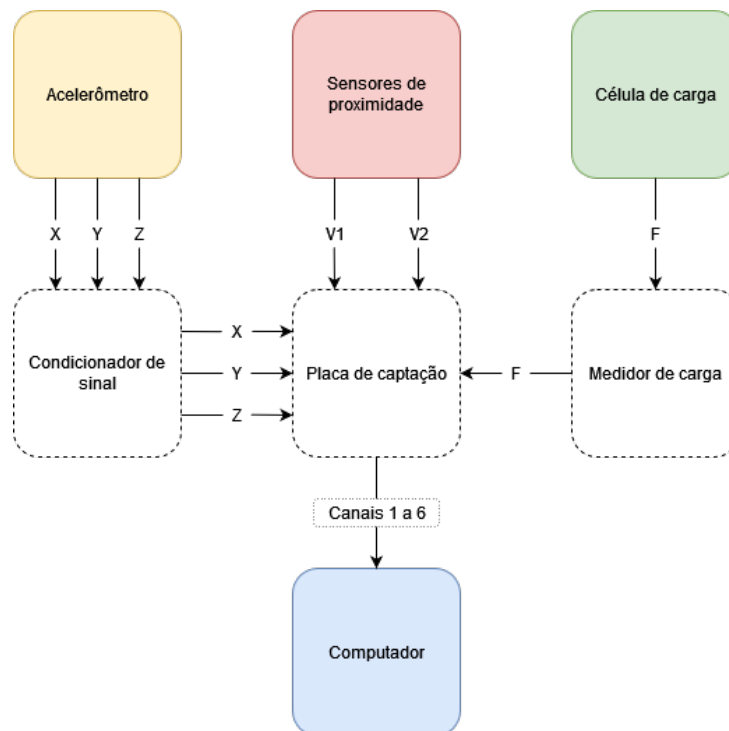


Figura 18: Esquema da captação dos sinais provenientes do acelerômetro, célula de carga e sensores de proximidade.

### 4.1.3 Gravação dos ensaios

Para além do registo dos sinais medidos do sistema, observar os movimento e deformação do capacete à iminência e durante o impacto, utilizou-se uma câmara de alta velocidade Photron FASTCAM SA5, um tubo extensor Vello EXT-NFM para foco mais próximo da lente da câmara, e um par de painéis de LED para a iluminação do sistema. Isso possibilitou obter imagem em alta qualidade de todo o impacto e resposta do capacete.

## 4.2 Ensaios

Visando verificar o êxito na implementação do sistema, o capacete 6 foi retirado da comparação e utilizado somente para testar o funcionamento e as condições necessárias para o teste – por exemplo, confirmar as alturas necessárias para que a queda livre resulte nas velocidades de impacto previstas.

### 4.2.1 Impacto em superfície plana

#### 4.2.1.1 Capacete 1

A figura 19 mostra a movimentação do capacete instantes antes do impacto, e a reação do mesmo após o choque. Pode-se ver que o capacete realiza um excelente trabalho freando o choque, e o mesmo não é lançado para cima com muita intensidade, como será observado em alguns casos a seguir – em especial, no teste do capacete 5.



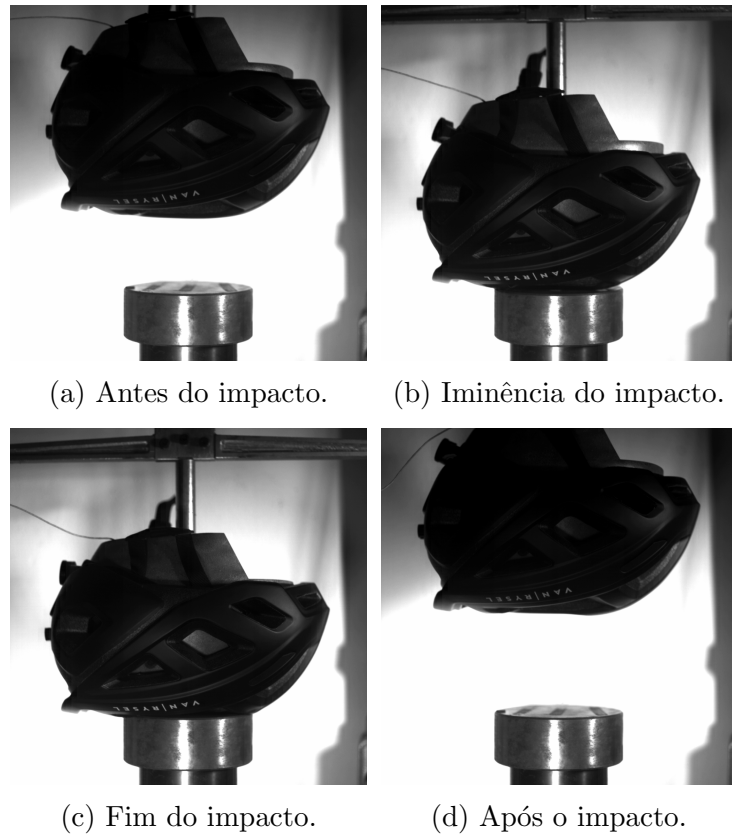


Figura 19: *Frames* captados pela câmera de alta velocidade no impacto do capacete 1 com base plana.

O próximo passo foi verificar se, de fato, a velocidade de impacto medida foi suficientemente próxima à estipulada pela norma. O primeiro sensor foi acionado no instante  $t_1=0.6774$  segundos, enquanto o segundo no instante  $t_2=0.6809$ ; como a distância entre sensores é sabida e igual a 24.1 milímetros, a velocidade calculada foi, aproximadamente, 5.36 metros por segundo, bastante próxima à prevista (5.42 m/s).



Figura 20: Sinais dos sensores de proximidade.

Validada a velocidade, voltou-se para os sinais vindos do acelerômetro, ilustrados na figura 49. Conforme o esperado, as acelerações nos eixos horizontais, X e Y, oscilaram em torno de 0, assumindo sempre valores suficientemente baixos. Tratando-se do sinal referente ao eixo Z, vertical, pode-se ver picos bem definidos, referentes aos momentos de inversão de sentido de deslocamento, seja pelo impacto ou pela ação da gravidade após o capacete ser lançado para cima.

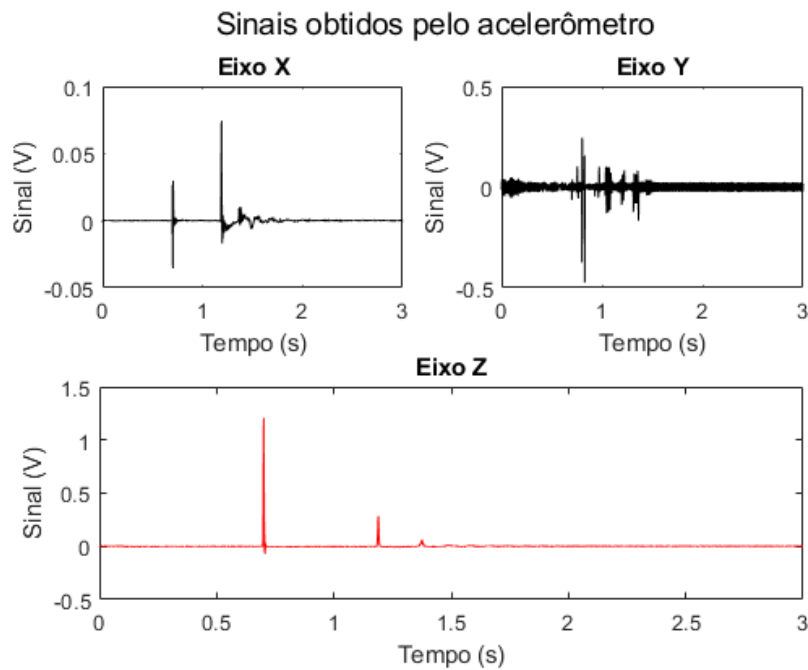


Figura 21: Sinais obtidos pelo acelerômetro no impacto do capacete com a superfície plana.

O gráfico ilustrado na figura 22 refere-se ao sinal obtido pelo medidor de carga, e é visível a semelhança ao eixo Z da figura 49: na figura 23 foi feita uma comparação entre as medições, já convertidas para  $g$ , explicitando a concordância.

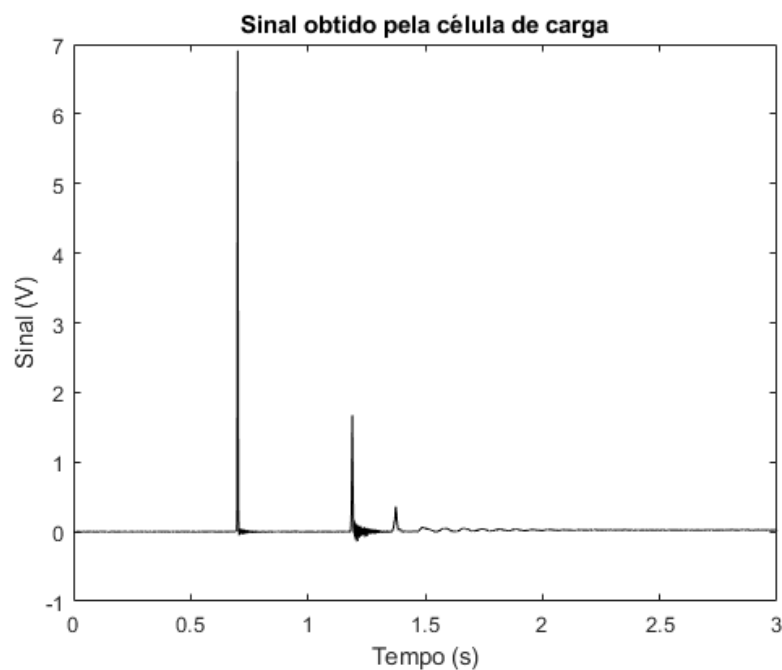


Figura 22: Sinal obtido pelo medidor de carga no impacto do capacete com a superfície plana.

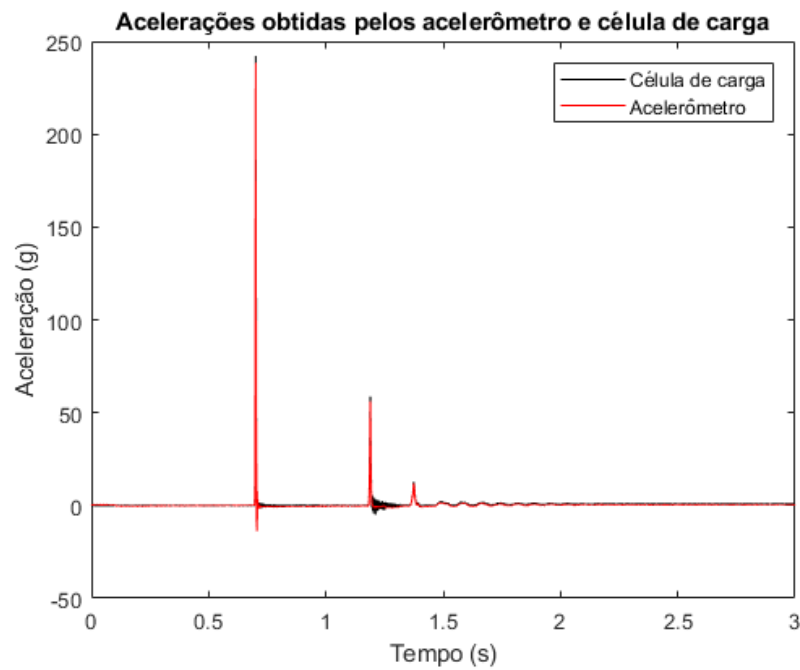


Figura 23: Acelerações obtidas no impacto do capacete com a superfície plana.

#### 4.2.1.2 Capacete 2

Tendo em mente a reação do capacete 1, vista na figura 19, pode-se perceber que neste teste a cabeça foi lançada mais alto do que no anterior. Isso levanta a hipótese de que a performance foi inferior, que será verificada a seguir.

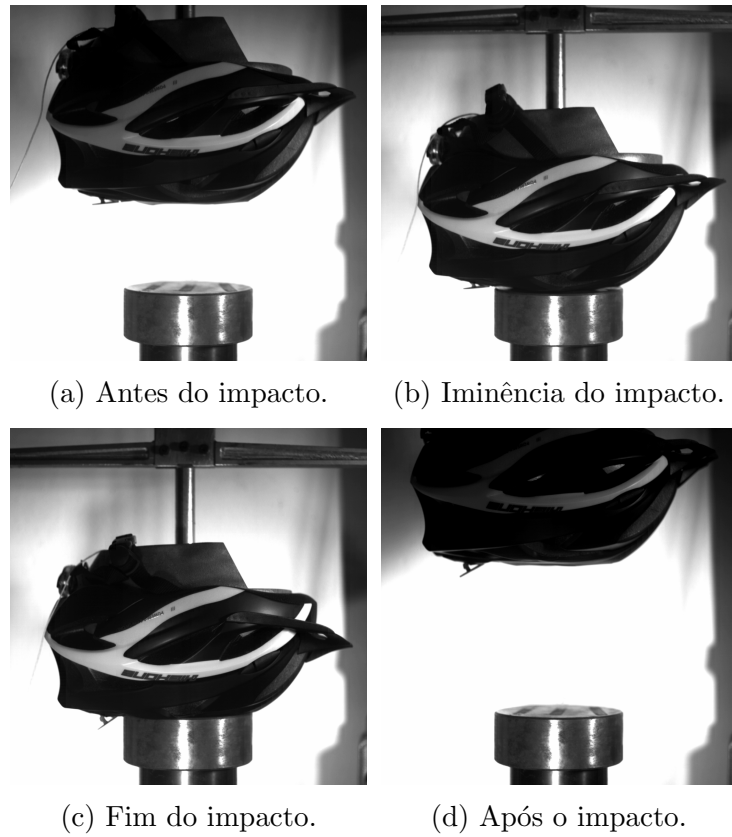


Figura 24: *Frames* captados pela câmera de alta velocidade no impacto do capacete 2 com base plana.

Pelo mesmo método que o teste anterior, obteve-se  $t_1=0.6514$  e  $t_2=0.6559$  s, evidenciando uma velocidade aproximada de 5.36 m/s, igual à anterior.

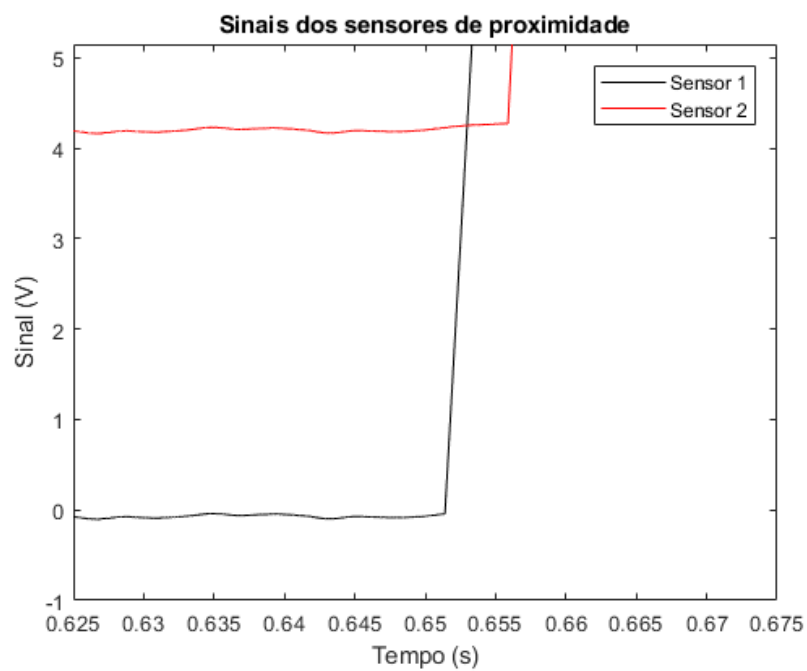


Figura 25: Sinais dos sensores de proximidade.

Os gráficos dos sinais do acelerômetro (figura 54) e da célula de carga (figura 27) seguem o padrão do capacete 1, e a figura 23 ilustra a coincidência de ambas.

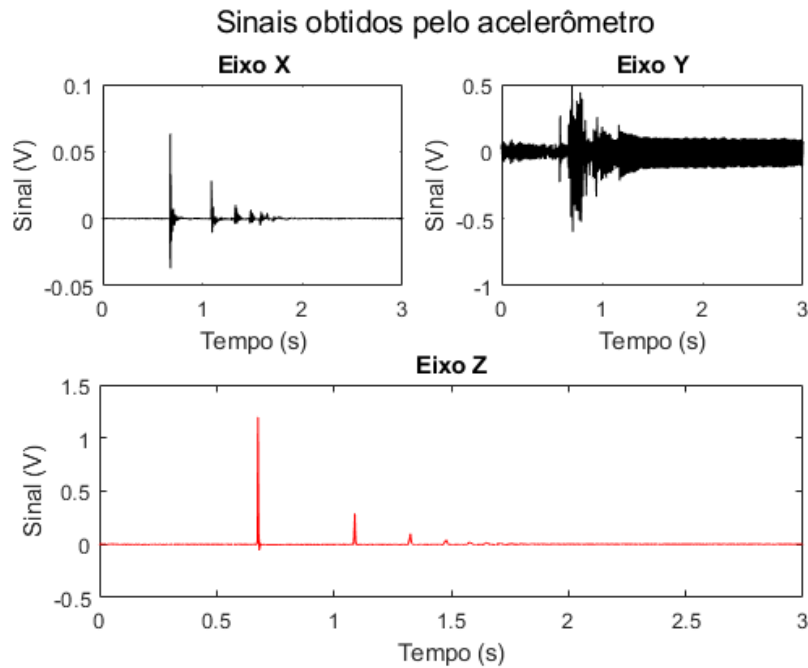


Figura 26: Sinais obtidos pelo acelerômetro no impacto do capacete com a superfície plana.

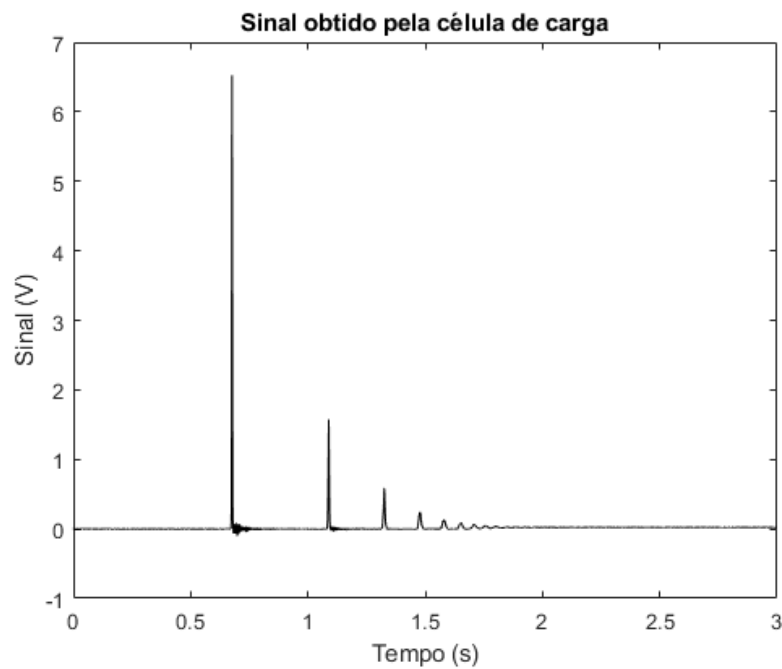


Figura 27: Sinal obtido pelo medidor de carga no impacto do capacete com a superfície plana.

Em comparação ao capacete 1, observa-se já um aumento na aceleração máxima do

corpo de prova, corroborando com a hipótese mencionada acima.

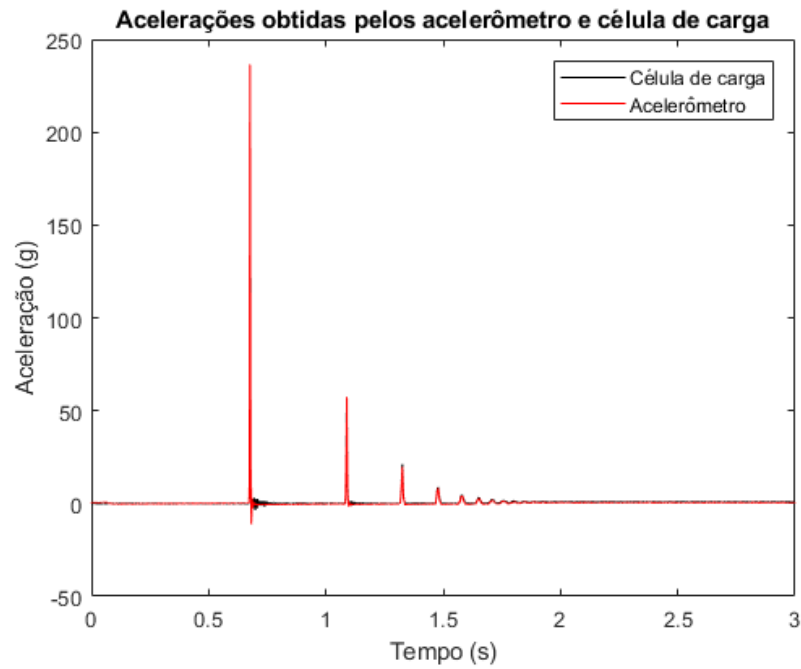


Figura 28: Acelerações obtidas no impacto do capacete com a superfície plana.

#### 4.2.1.3 Capacete 3

Este teste apresentou uma semelhança extremamente grande ao do capacete 2, tanto em movimento (figuras 24 e 29), quanto em aceleração da cabeça (figuras 54 e 59), e o resultado será analisado mais à frente.

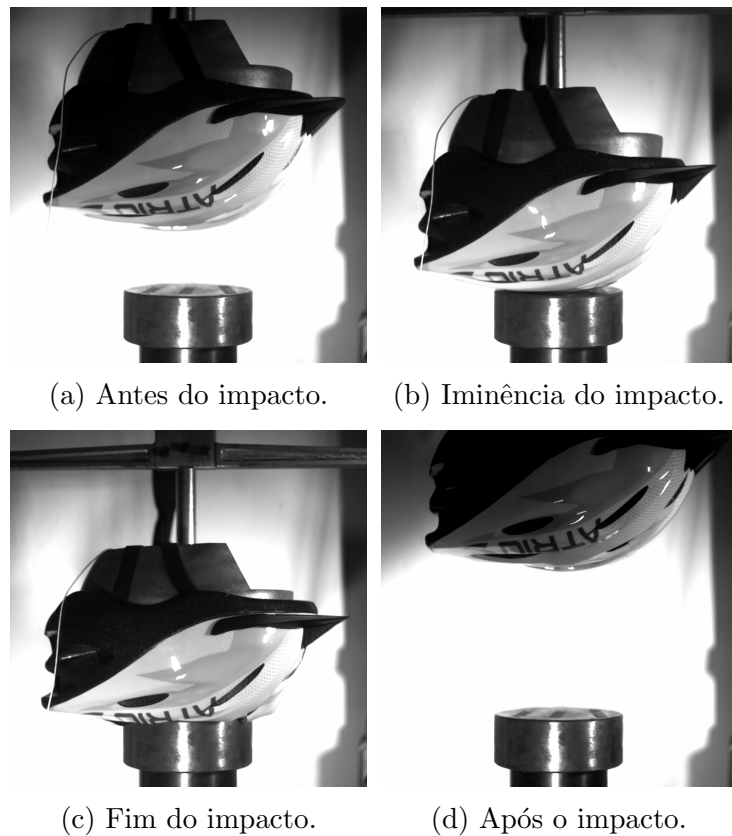


Figura 29: *Frames* captados pela câmera de alta velocidade no impacto do capacete 3 com base plana.

A velocidade obtida foi de 5.48 m/s, um pouco acima das anteriores, mas ainda suficientemente próxima de 5.42 m/s para ser validada.

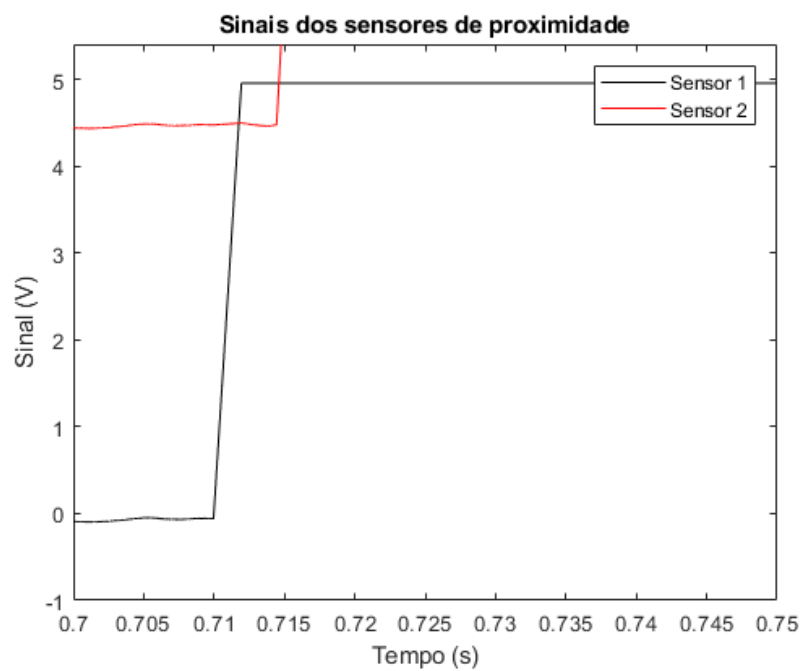


Figura 30: Sinais dos sensores de proximidade.



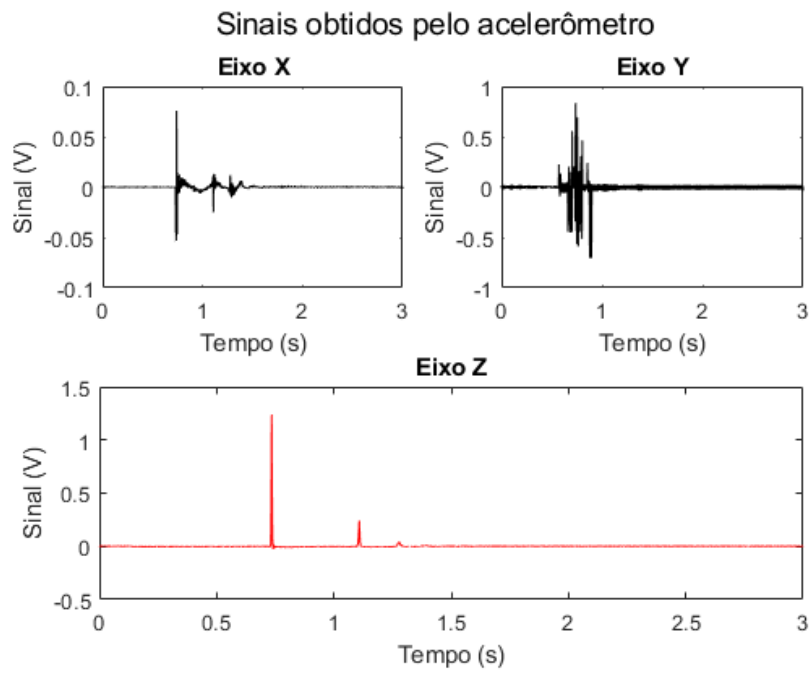


Figura 31: Sinais obtidos pelo acelerômetro no impacto do capacete com a superfície plana.

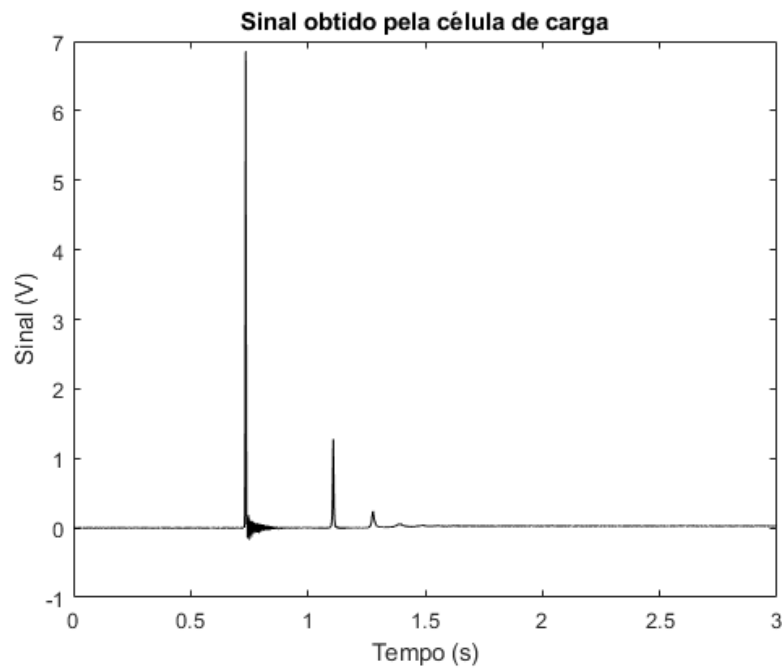


Figura 32: Sinal obtido pelo medidor de carga no impacto do capacete com a superfície plana.

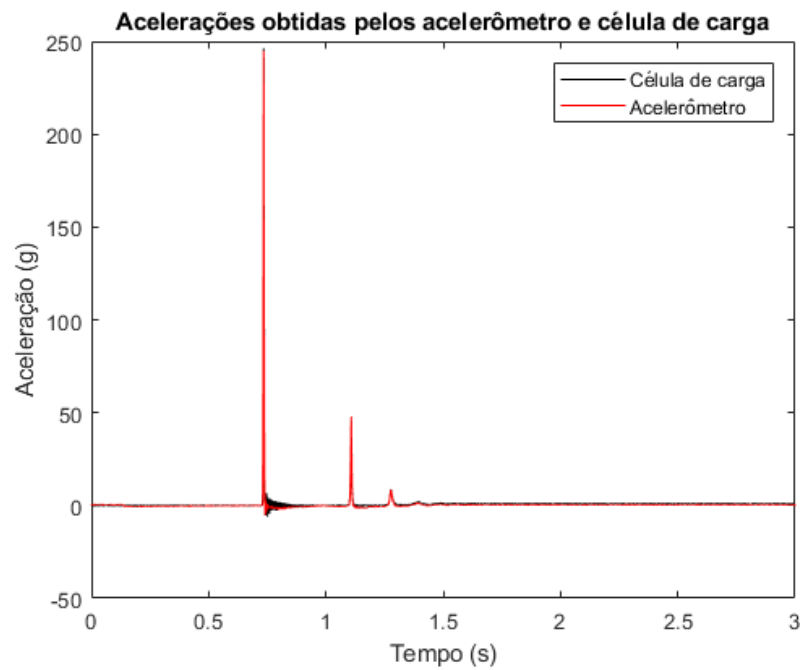


Figura 33: Acelerações obtidas no impacto do capacete com a superfície plana.

#### 4.2.1.4 Capacete 4

O capacete 4, em seu ensaio de impacto com a superfície plana, foi o primeiro que ultrapassou o limite de 250 *g* estabelecido na norma; a velocidade calculada foi a mesma que as dos capacetes 1 e 2, 5.36 m/s, entretanto as acelerações máximas captadas pelo acelerômetro e pela célula de carga foram, respectivamente, 258 *g* e 259 *g*.

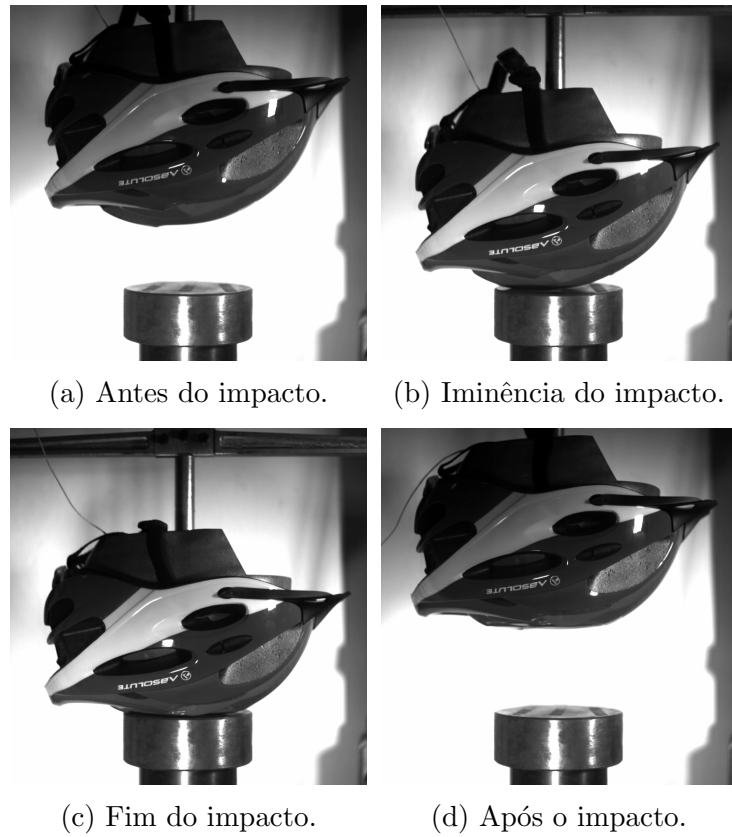


Figura 34: *Frames* captados pela câmera de alta velocidade no impacto do capacete 4 com base plana.

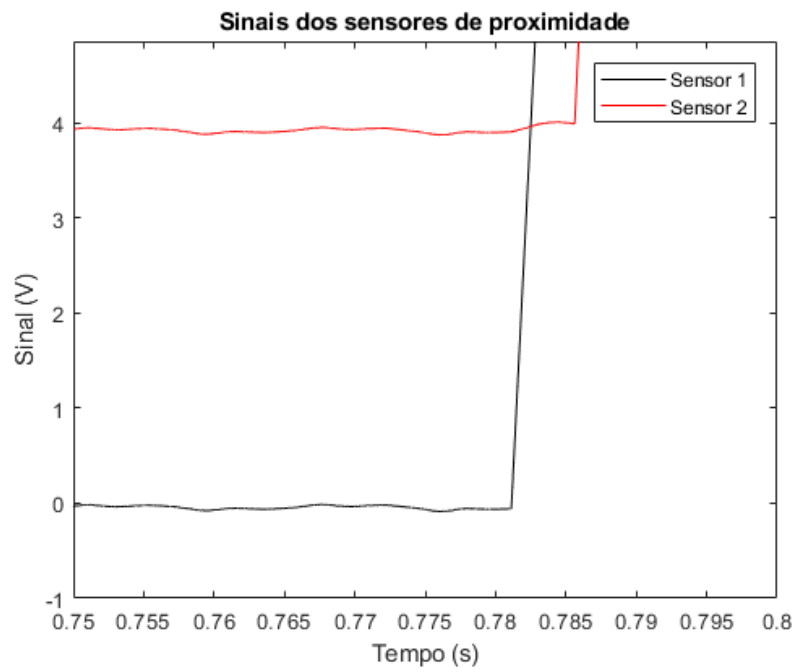


Figura 35: Sinais dos sensores de proximidade.

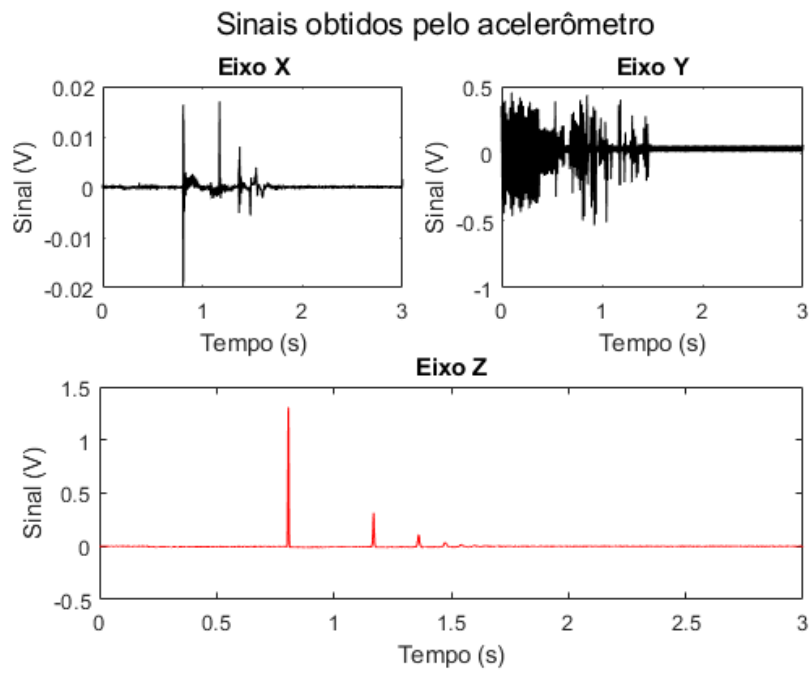


Figura 36: Sinais obtidos pelo acelerômetro no impacto do capacete com a superfície plana.

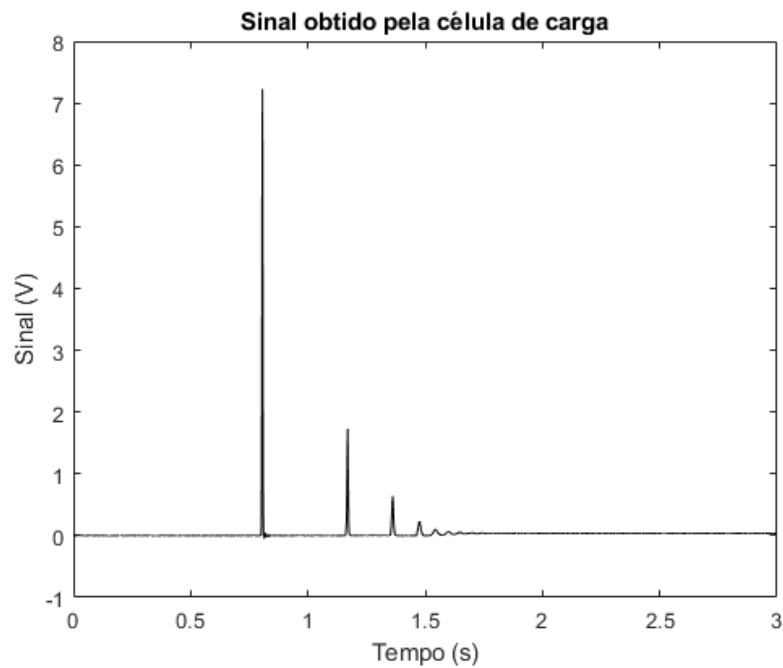


Figura 37: Sinal obtido pelo medidor de carga no impacto do capacete com a superfície plana.

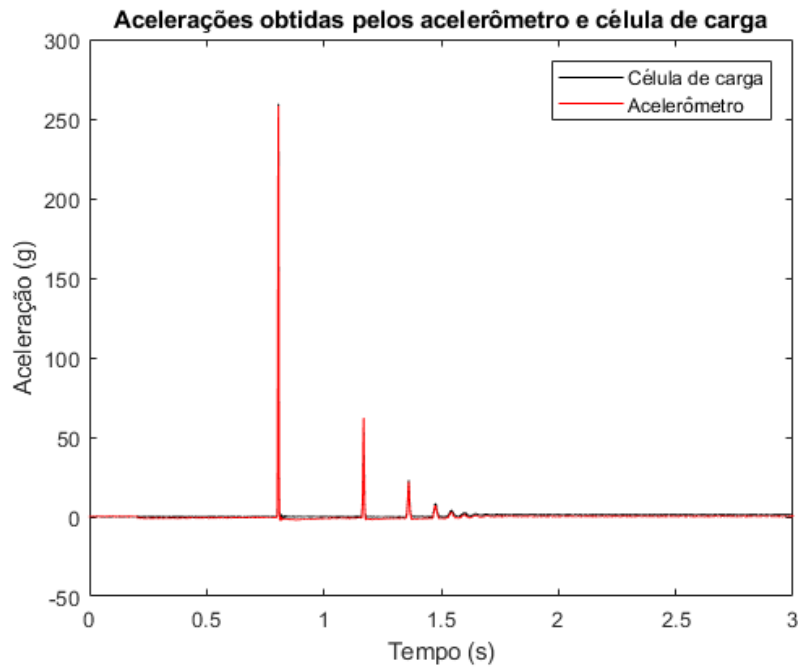


Figura 38: Acelerações obtidas no impacto do capacete com a superfície plana.

#### 4.2.1.5 Capacete 5

Assim como o capacete 4, mesmo com uma velocidade de impacto aproximadamente igual a 5.36 m/s, o capacete 5 ultrapassou o limite da norma. Contudo, diferiu-se bastante quanto à intensidade: a aceleração máxima medida pelo acelerômetro quase atingiu 400 *g*, chegando à incrível marca de 397 *g*. Além disso, a aceleração foi tão alta que ultrapassou o alcance da faixa do medidor de carga, cujo sinal foi saturado em -10.24 volts, e consequentemente não foi possível o evento por completo.

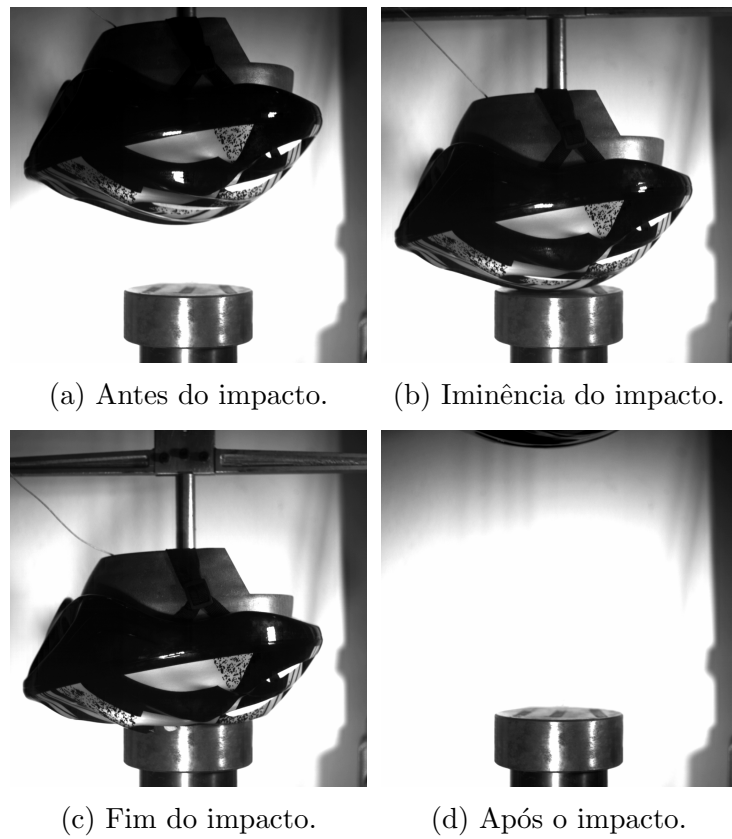


Figura 39: *Frames* captados pela câmera de alta velocidade no impacto do capacete 5 com base plana.

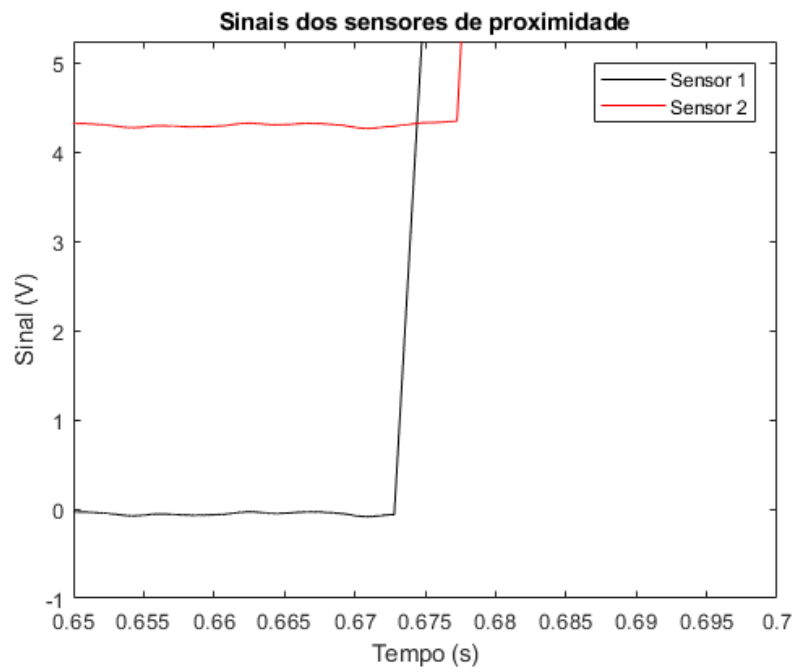


Figura 40: Sinais dos sensores de proximidade.

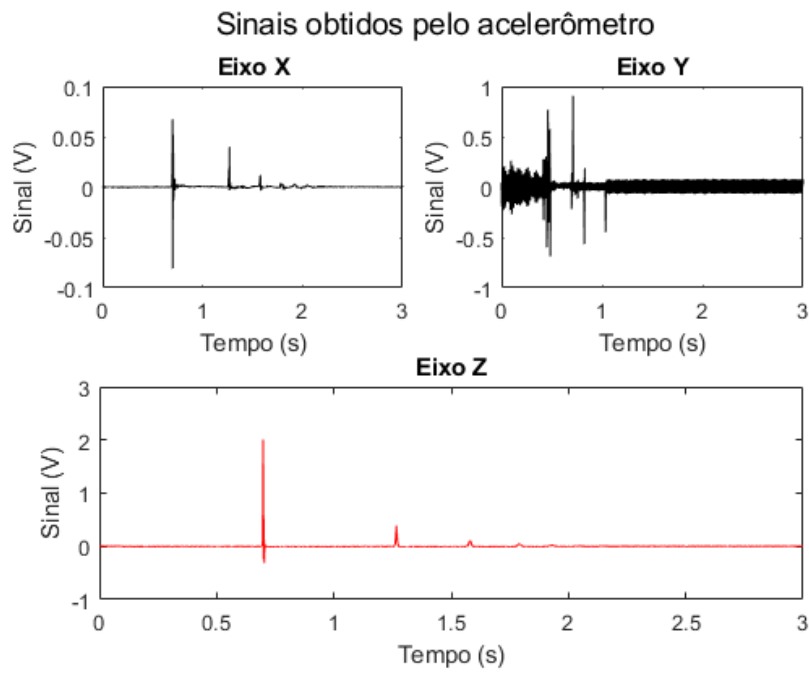


Figura 41: Sinais obtidos pelo acelerômetro no impacto do capacete com a superfície plana.

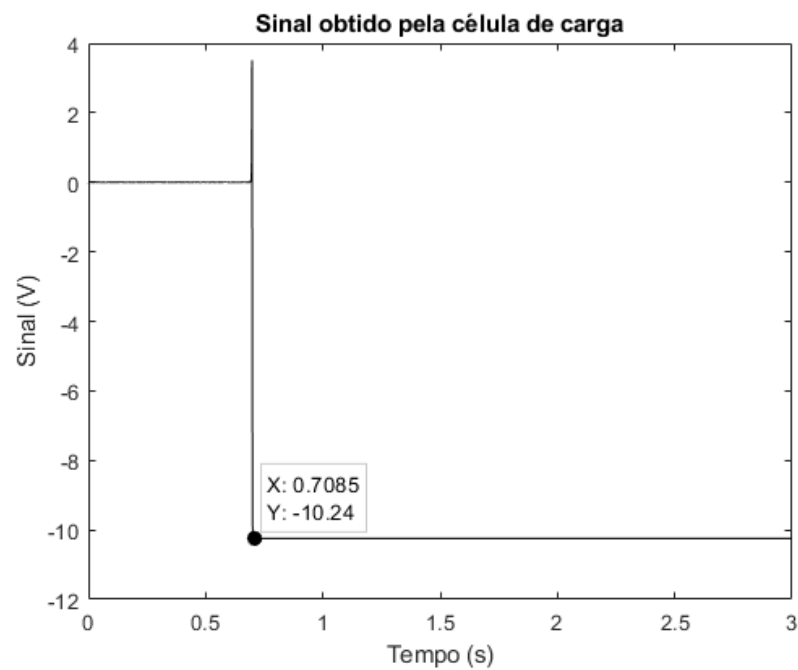


Figura 42: Sinal obtido pelo medidor de carga no impacto do capacete com a superfície plana.

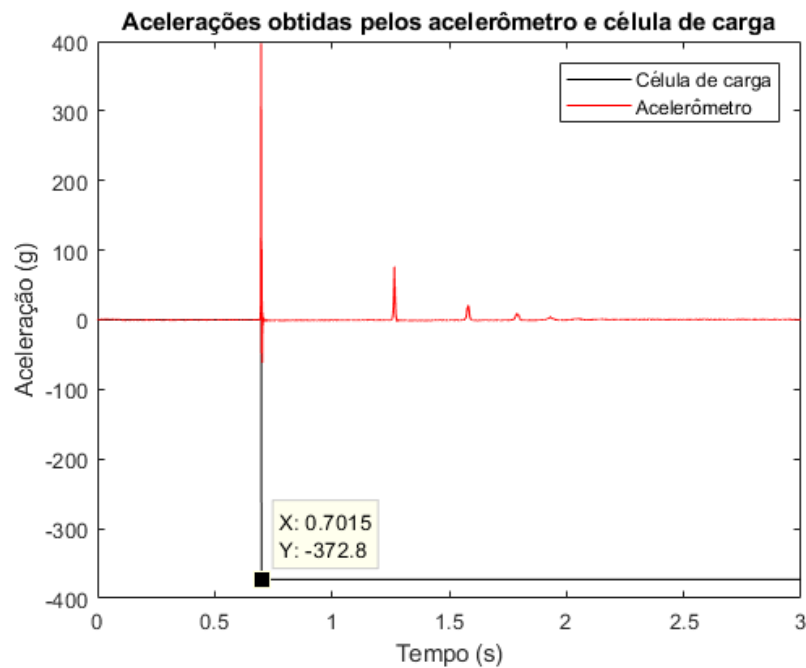


Figura 43: Acelerações obtidas no impacto do capacete com a superfície plana.

Outro ponto importante nesse teste foi o estado resultante do capacete. O mesmo foi bastante destruído, contando com um grande rompimento no local do impacto. Tendo isso em mente e, receando um impacto direto entre a cabeça metálica e a base simuladora de meio-fio, foi decidido não realizar o segundo teste com esse capacete.



Figura 44: Capacete 5 após o impacto com a superfície plana.



#### 4.2.1.6 Resumo

A tabela 4 compila os principais resultados dos ensaios realizados com a base plana. Os capacetes 1 a 3 tiveram resultados semelhantes, atendo-se ao limite da norma. Os demais não obtiveram o mesmo sucesso dos anteriores, mas o 4 ainda mostrou uma boa absorção do impacto, sendo reprovado por pouco – ao contrário do capacete 5, cujo resultado fora péssimo.

Identificação	Velocidade de impacto	Aceleração máxima (acelerômetro)	Aceleração máxima (célula de carga)
1	5.36 m/s	238 g	242 g
2	5.36 m/s	236 g	234 g
3	5.48 m/s	245 g	246 g
4	5.36 m/s	258 g	259 g
5	5.36 m/s	397 g	-

Tabela 4: Valores obtido nos testes com a superfície plana.

#### 4.2.2 Impacto em simulação de meio-fio

Os procedimentos dessa sequência de testes são análogos à anterior; os resultados serão melhor vistos e discutidos a seguir.

#### 4.2.2.1 Capacete 1

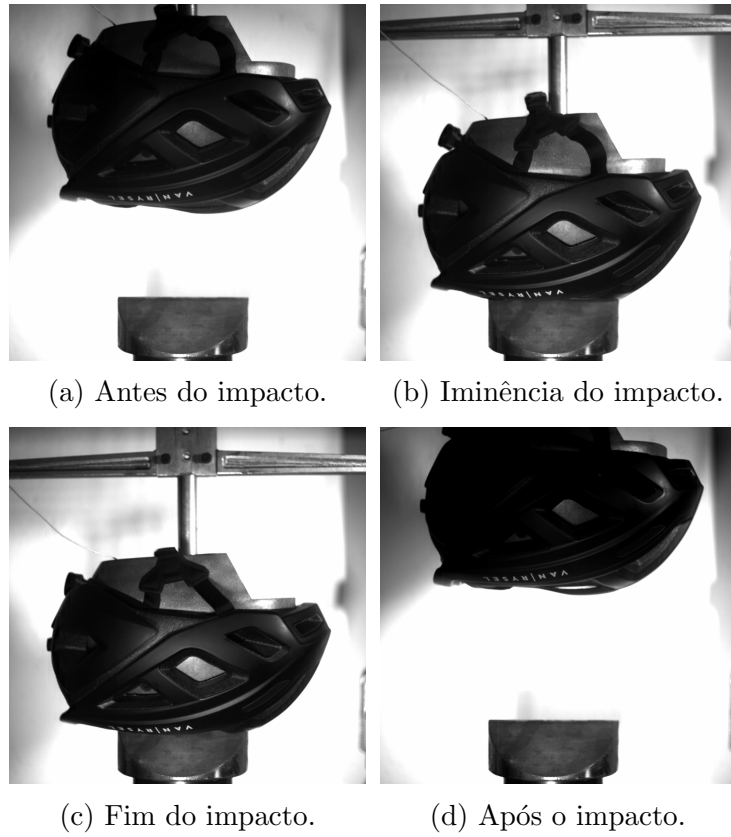


Figura 45: *Frames* captados pela câmera de alta velocidade no impacto do capacete 1 com base simuladora de meio-fio.



Figura 46: Sinais dos sensores de proximidade.

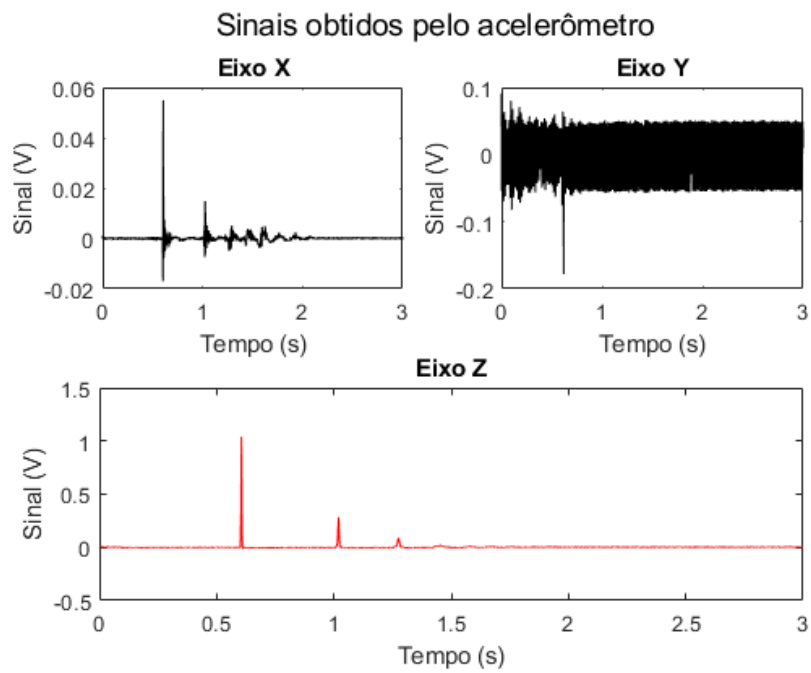


Figura 47: Sinais obtidos pelo acelerômetro no impacto do capacete com a superfície simuladora de meio-fio.

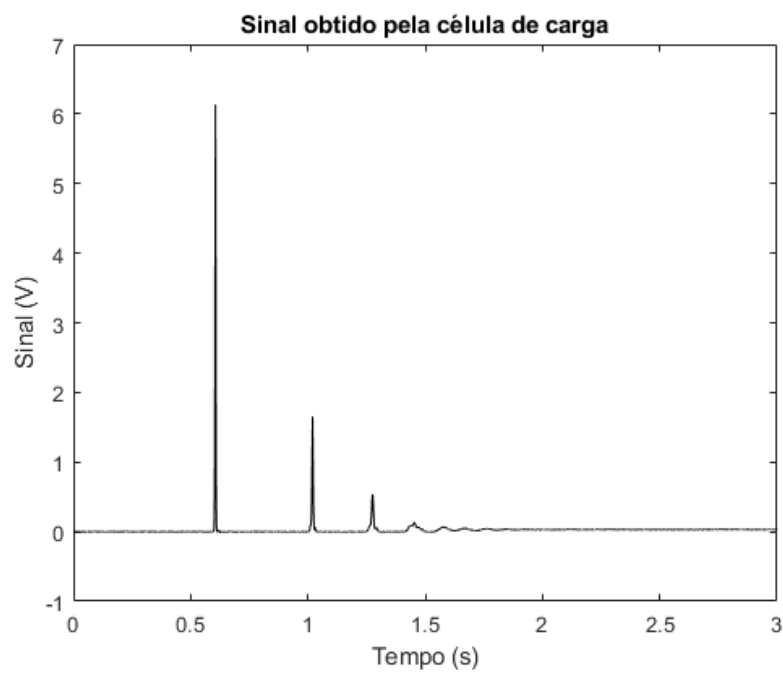


Figura 48: Sinal obtido pelo medidor de carga no impacto do capacete com a superfície simuladora de meio-fio.

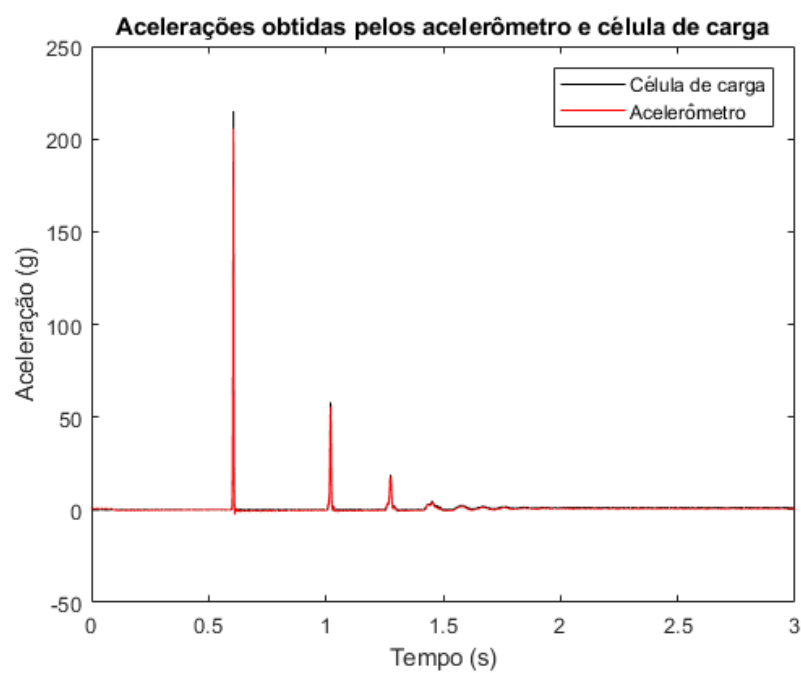


Figura 49: Acelerações obtidas no impacto do capacete com a superfície simuladora de meio-fio.

#### 4.2.2.2 Capacete 2

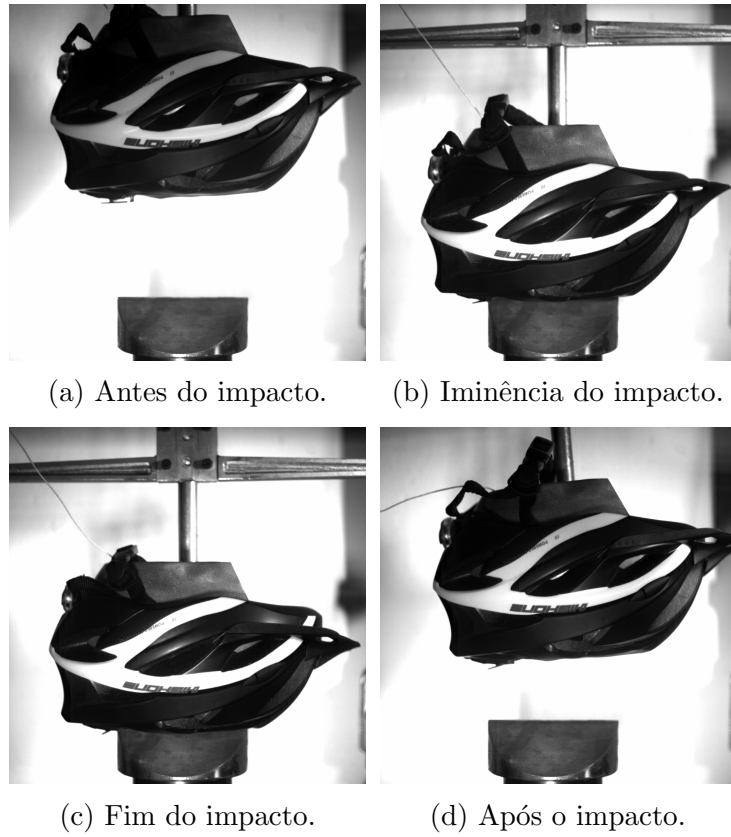


Figura 50: *Frames* captados pela câmera de alta velocidade no impacto do capacete 2 com base simuladora de meio-fio.



Figura 51: Sinais dos sensores de proximidade.

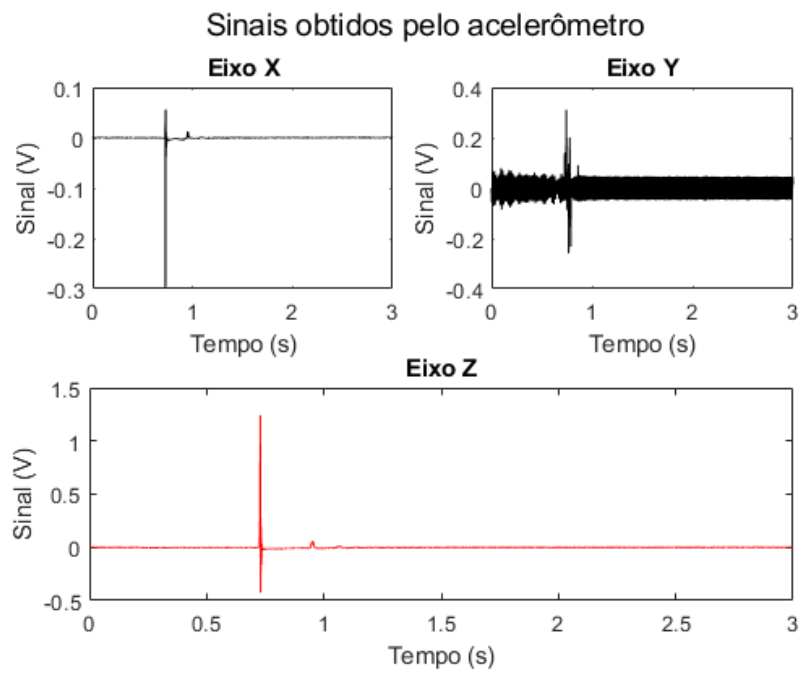


Figura 52: Sinais obtidos pelo acelerômetro no impacto do capacete com a superfície simuladora de meio-fio.

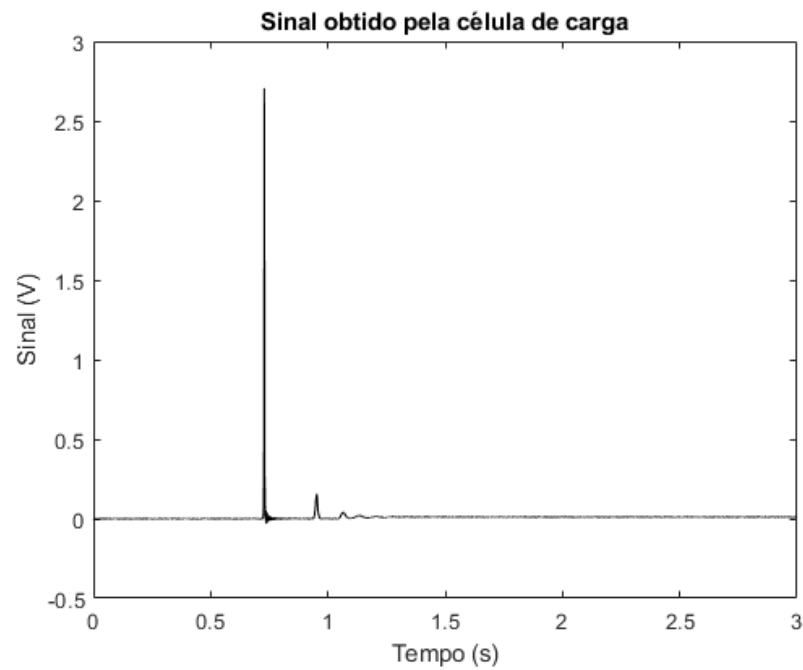


Figura 53: Sinal obtido pelo medidor de carga no impacto do capacete com a superfície simuladora de meio-fio.

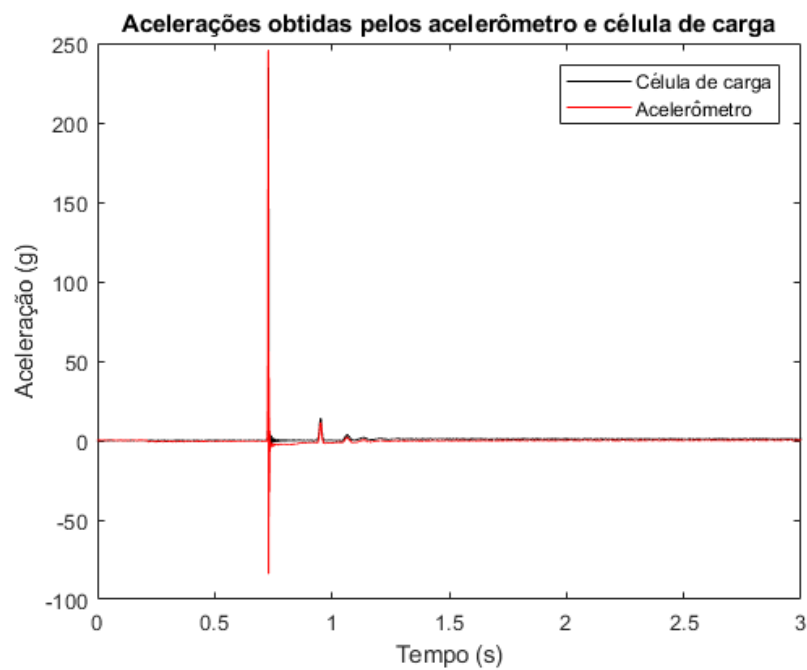


Figura 54: Acelerações obtidas no impacto do capacete com a superfície simuladora de meio-fio.

#### 4.2.2.3 Capacete 3

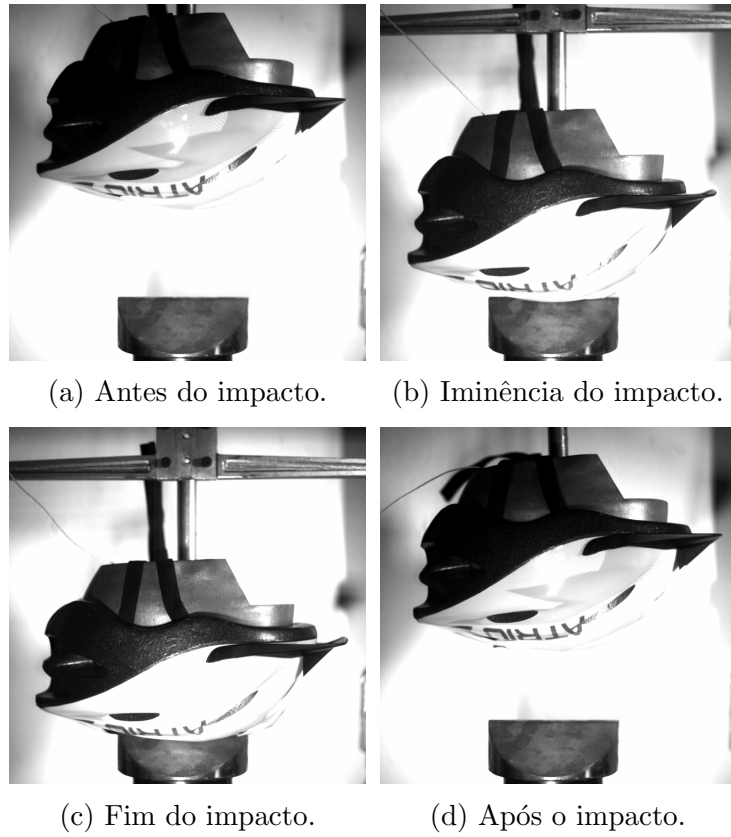


Figura 55: *Frames* captados pela câmera de alta velocidade no impacto do capacete 3 com base simuladora de meio-fio.





Figura 56: Sinais dos sensores de proximidade.

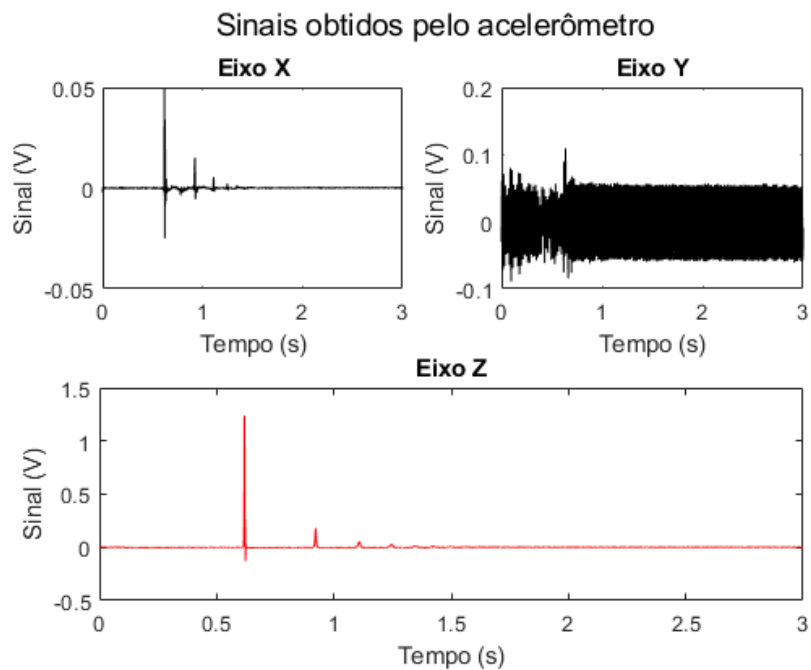


Figura 57: Sinais obtidos pelo acelerômetro no impacto do capacete com a superfície simuladora de meio-fio.

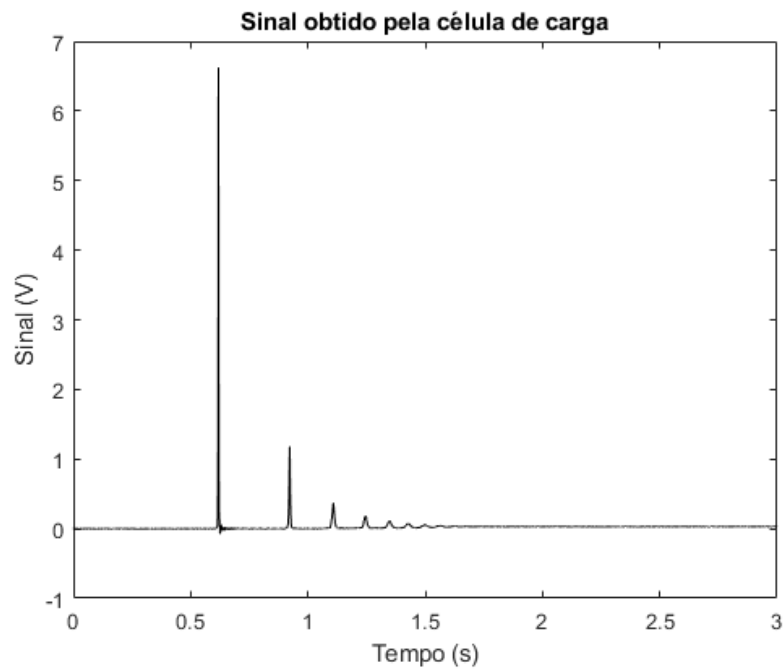


Figura 58: Sinal obtido pelo medidor de carga no impacto do capacete com a superfície simuladora de meio-fio.

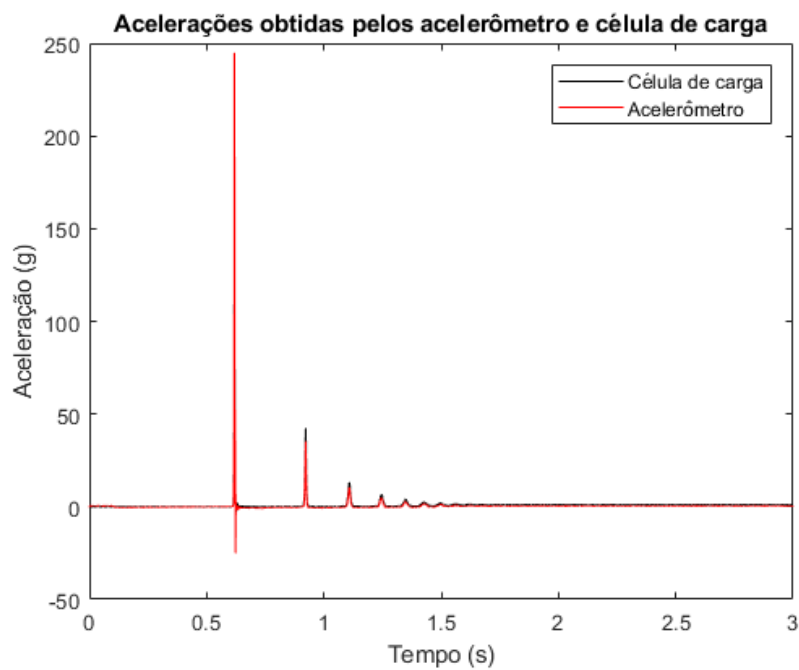
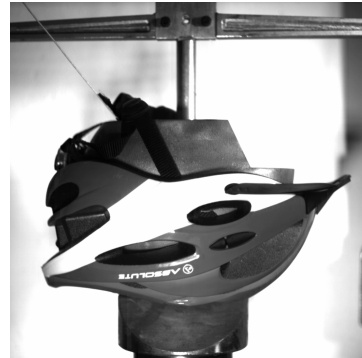


Figura 59: Acelerações obtidas no impacto do capacete com a superfície simuladora de meio-fio.

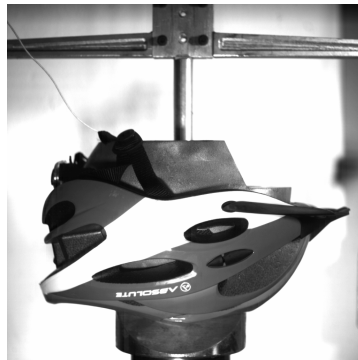
#### 4.2.2.4 Capacete 4



(a) Antes do impacto.



(b) Iminência do impacto.



(c) Fim do impacto.



(d) Após o impacto.

Figura 60: *Frames* captados pela câmera de alta velocidade no impacto do capacete 4 com base simuladora de meio-fio.



Figura 61: Sinais dos sensores de proximidade.

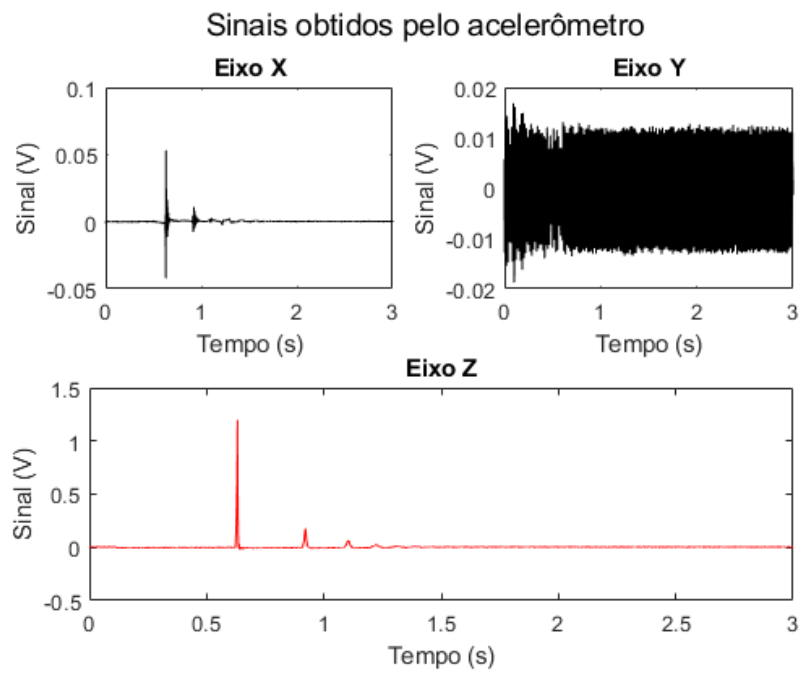


Figura 62: Sinais obtidos pelo acelerômetro no impacto do capacete com a superfície simuladora de meio-fio.

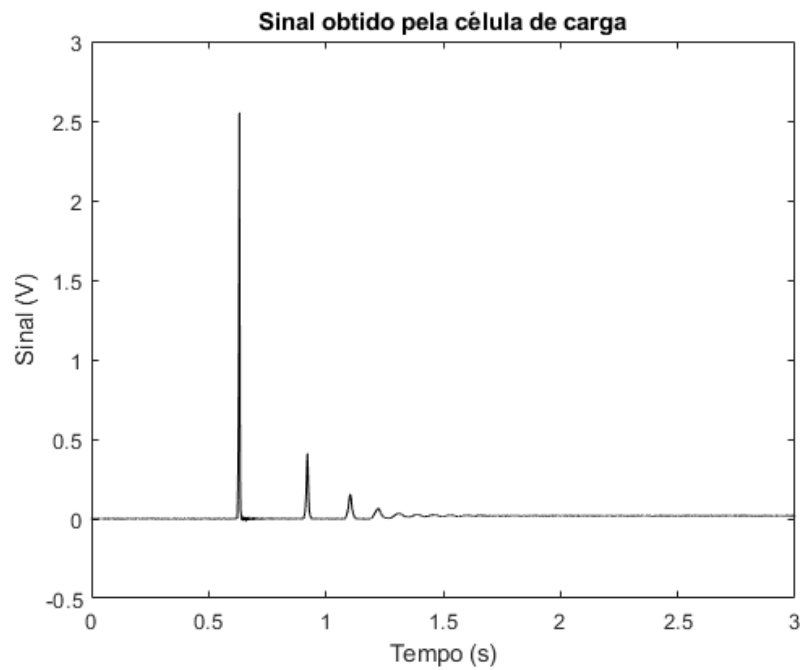


Figura 63: Sinal obtido pelo medidor de carga no impacto do capacete com a superfície simuladora de meio-fio.

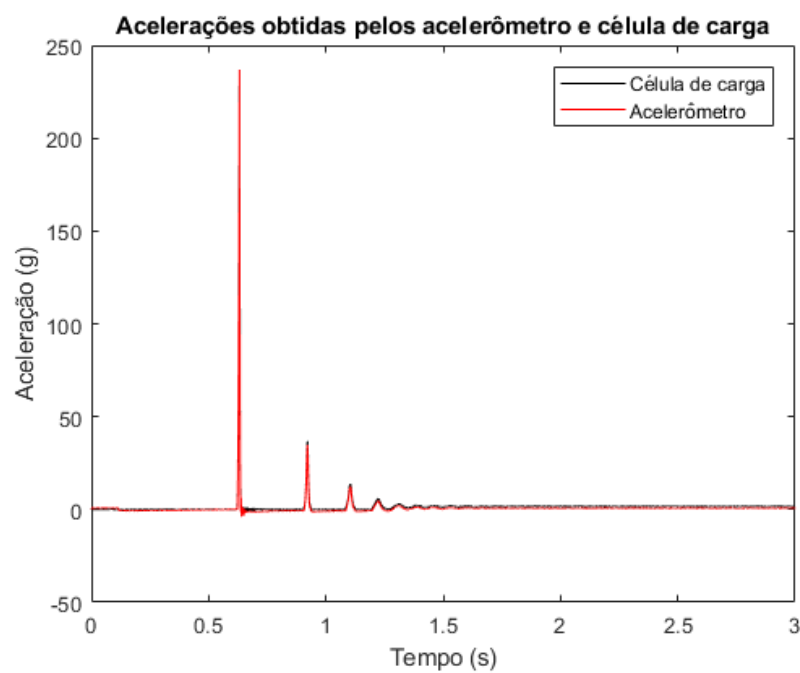


Figura 64: Acelerações obtidas no impacto do capacete com a superfície simuladora de meio-fio.

#### 4.2.2.5 Capacete 5

Conforme registrado anteriormente, o teste de impacto com o meio-fio não foi realizado com esse capacete, devido a riscos de danificar equipamentos do laboratório.

#### 4.2.2.6 Resumo

Observa-se, na tabela 5, uma variação um pouco maior na velocidade de impacto, em comparação aos ensaios com a base plana. Todavia, ainda sim, foi mantida uma proximidade considerável à meta de 4.57 m/s. Os capacetes 1 a 3 mantiveram o resultado positivo obtido anteriormente, enquanto o 4 – um dos que não fora aprovado no último teste – teve o segundo melhor desempenho, perdendo apenas para o 1.

Identificação	Velocidade de impacto	Aceleração máxima (acelerômetro)	Aceleração máxima (célula de carga)
1	4.55 m/s	206 g	215 g
2	4.73 m/s	246 g	242 g
3	4.55 m/s	245 g	238 g
4	4.63 m/s	237 g	229 g
5	-	-	-

Tabela 5: Valores obtido nos testes com o simulador de meio-fio.

### 4.3 Avaliação e comparação

Em síntese, três dos capacetes obtiveram resultados positivos em ambos os testes. Estes coincidiram com os que possuem certificação, conforme o esperado. O capacete 4 um teve um desempenho pouco abaixo do esperado no primeiro teste, e acima do esperado no segundo, e por isso não seria aprovado pela regulamentação. Da mesma forma, mas com uma performance extremamente baixa, o capacete 5 não passou no primeiro teste e, para evitar danos ao equipamento do laboratório, nem foi submetido ao segundo.

Identificação	Impacto com superfície plana	Resultado	Impacto com meio-fio	Resultado
1	238 g	Positivo	206 g	Positivo
2	236 g	Positivo	246 g	Positivo
3	245 g	Positivo	245 g	Positivo
4	258 g	Negativo	237 g	Positivo
5	397 g	Negativo	-	Nulo

Tabela 6: Resultados obtidos para os testes com superfícies plana e simuladora de meio-fio.

## 5 DISCUSSÃO

Por mais que acidentes de bicicleta possam provocar a sensação de menor seriedade do que, por exemplo, tratando-se de motocicletas, este estudo evidenciou não só a comparação entre modelos de mercado e suas performances, mas também a intensidade do impacto no qual o capacete de bicicleta pode ser submetido.

A não obrigatoriedade do equipamento em território brasileiro é, no mínimo, contestável; haver-se-ia riscos enormes de danos sérios ao crânio do ciclista que fosse submetido a um acidente de intensidade semelhante à simulada em laboratório. Mesmo com capacetes – fabricados fora do país e submetidos à norma europeia [2] – que demonstraram desempenhos conforme a regulamentação do Brasil [1], a aceleração observada pelo corpo de prova fora bastante acentuada. Daqueles que não possuíam o certificado, um apresentou resultados próximos do esperado, enquanto o outro extrapolou e muito o limite de 250 *g*, sendo destruído no processo.

Ainda assim, é importante frisar que, embora a proteção do capacete 5 seja bem inferior ao desejado, um impacto daquela intensidade sem qualquer equipamento de segurança seria extremamente mais sério. A obrigatoriedade da utilização do capacete deveria, sim, sem imposta pelos órgãos responsáveis; ao redor do mundo países registram quedas tanto em contagem quanto em severidade de acidentes dentre ciclista após adotar políticas mais estritas quanto ao equipamento [14, 15].

Por outro lado, embora a norma imposta à confecção do equipamento no Brasil, bem como nos países que seguem a norma EN 1078 [2] e suas derivações, há um elemento não considerado pela mesma: o dano causado ao tecido cerebral em decorrência de impactos oblíquos. Isto é, a regulamentação leva em conta apenas impactos normais, avaliando a aceleração máxima observada, e deixa de lado choques nos quais é impresso um movimento de rotação à cabeça. Isso pois as quedas de todas as normas mencionadas no presente trabalho precisam ser feitas com guias, ocultando o efeito da aceleração angular.

Capacetes comerciais têm, em sua maioria, voltado-se ao aprimoramento da resposta

a um impacto direto, considerando uma dada energia ou velocidade [16]. Caserta e colaboradores acrescentam que a maior área de estudo fora dedicada no que diz respeito às propriedades dos materiais, seja naquele que constitui a casca externa ou a camada de absorção da energia do impacto.

Contudo, diversos autores [16–21] buscaram adereçar tal problema ao proporem novos modelos e análises de capacetes, embora que em sua maioria tratando-se equipamentos de uso de motociclistas. Em estudo feito na Suécia [22], Rizzi e colaboradores concluíram não somente que a região superior do corpo é mais propensa aos acidentes (37%), mas que o crânio apresenta um índice de 26%. Da mesma forma, sabendo da crucial importância da proteção da cabeça de motociclistas [16], e que a cabeça é a região mais comum tratando-se de ferimentos sérios [23], pode-se estabelecer um paralelo entre as duas análises. Outrossim, vale investigar também a literatura voltada a motocicletas, que é mais amplamente estudada, no âmbito de aproveitar a similaridade entre os acidentes e impactos na região craniana.

Dessa forma, um tópico de grande interesse e benefício à sociedade seria o estabelecimento de avaliações e critérios que levem em conta a aceleração angular desempenhada pelo corpo de prova, de modo a simular os potenciais danos ao tecido cerebral em acidentes nos quais o impacto não é frontal.



## 6 CONCLUSÃO

Em suma, o presente trabalho possibilitou a comparação entre cinco modelos de capacetes de bicicletas diferentes encontrados no mercado. As avaliações foram feitas seguindo a norma brasileira ABNT NBR 16175. De forma mais ampla, foi feito uma análise da evolução do mercado de bicicletas e a prática do ciclismo no Brasil. Foi constatado um crescimento acentuado durante os últimos anos, o que mostra a importância da consciência das formas de proteção e mitigação de acidentes mais sérios. O equipamento mais importante é o capacete, que protege a região do crânio e os órgãos em seu interior.

Com isso em mente, foram estudadas normas que são utilizadas como base para validação de capacetes do mercado: brasileira, da União Europeia e estadunidense. Em geral, a brasileira é bastante semelhante à norma europeia e a norma estadunidense possui grandes semelhanças também. Aqui, foi dada maior atenção para os testes de absorção de impactos.

Para a elaboração dos ensaios, foram comprados 5 capacetes de diferentes preços, marcas e recomendações do mercado. Seguindo a norma ABNT NBR 16175, foram feitos dois tipos de ensaios para cada capacete: um impacto sobre uma base plana com velocidade de 5.42 m/s e um impacto sobre uma base de meio-fio com velocidade de 4.57 m/s. Para serem aprovados pelos testes, os capacetes deveriam apresentar acelerações lineares máximas menores que 250 *g* (independente da base utilizada). Foi possível calcular as acelerações através de um acelerômetro tridirecional e pela célula de carga. Ao final, as acelerações encontradas foram bastante próximas, mas foram utilizadas como parâmetro as acelerações tiradas do acelerômetro, conforme a norma.

Os resultados podem ser encontrados na tabela 6. Com isso, é possível classificar os capacetes ensaiados da seguinte forma:

Classificação	Marca/Modelo	Impacto com superfície plana	Impacto com meio-fio	Preço
1º	Van-Rysel Road500	238 <i>g</i>	206 <i>g</i>	R\$205.33
2º	High one Mtb Win	236 <i>g</i>	246 <i>g</i>	R\$116.70
3º	Atrio Mtb 2.0	245 <i>g</i>	245 <i>g</i>	R\$109.33
4º	Absolute Nero Mtb Speed	258 <i>g</i>	237 <i>g</i>	R\$98.90
5º	Acte Sports A77	397 <i>g</i>	-	R\$74.87

Tabela 7: Classificação final dos capacetes ensaiados

Observa-se que alguns outros pontos podem ser feitos de forma a complementar o presente estudo. Aqui, foram comparados 5 capacetes do mercado, mas um leque maior de capacetes, acrescentando com variedade de marcas, modelos e preços, no estudo seria enriquecedor. Seria interessante também a adição de capacetes que possuem tecnologias de proteção inovadores para integralizar no banco de dados, de forma a comparar e analisar a efetividade de tais inovações. Também seria relevante a implementação de uma forma de análise do impacto dos danos originados da aceleração angular, parâmetro que não está presente nas normas estudadas.

## REFERÊNCIAS

- 1 VEÍCULOS de duas rodas – Bicicleta – Capacete para condutores de bicicleta e usuários de patins, skates e semelhantes. 2013.
- 2 HELMETS for pedal cyclists and for users of skateboards and roller skates. 2013.
- 3 ESPORTE, M. do. A prática de esporte no brasil. 2013.
- 4 GLOBO. Segurança na bike: conheça deveres e direitos do ciclista para evitar acidentes. *Globo Esporte*, 09 2017.
- 5 ABNT. Veículos de duas rodas - bicicleta - capacete para condutores de bicicleta e usuários de patins, skates e semelhantes. *ABNT*, p. 15, 2013.
- 6 GUTH, D. Migração modal: Por que estamos perdendo ciclistas diariamente. *Mobilidade por Bicicleta no Brasil*, 2016. Disponível em: <http://ta.org.br/educativos/docs/mbb.pdf>.
- 7 ABRACICLO. Produção nacional de bicicletas. *ABRACICLO - Associação Brasileira dos Fabricantes de Motocicletas, Ciclomotores, Motonetas, Bicicletas e Similares*, 2016. Disponível em: [http://www.abraciclo.com.br/images/pdfs/Dados\\_Bicicleta/Bicicletas\\_Produ%C3%A7%C3%A3o\\_Nacional\\_2011-2015.pdf](http://www.abraciclo.com.br/images/pdfs/Dados_Bicicleta/Bicicletas_Produ%C3%A7%C3%A3o_Nacional_2011-2015.pdf).
- 8 ABRACICLO. O uso de bicicletas no brasil. *ABRACICLO - Associação Brasileira dos Fabricantes de Motocicletas, Ciclomotores, Motonetas, Bicicletas e Similares*, 2015. Disponível em: [http://www.abraciclo.com.br/images/pdfs/Dados\\_Bicicleta/Bicicletas\\_Produ%C3%A7%C3%A3o\\_Nacional\\_2011-2015.pdf](http://www.abraciclo.com.br/images/pdfs/Dados_Bicicleta/Bicicletas_Produ%C3%A7%C3%A3o_Nacional_2011-2015.pdf).
- 9 MERCADO de bicicletas tem crescimento de 26% na pandemia. *ASN - Agência Sebrae de Notícias*, 2021.
- 10 SOARES, A. G. Ciclomobilidade e pandemia: novo cenário, renovados desafios. *União de Ciclistas do Brasil*, 09 2020.
- 11 SALGADO, D. Pesquisa: Ciclismo é apontado como esporte mais seguro durante a pandemia. *Uol*, 11 2020.
- 12 VIEIRA, B. M. Capital paulista tem aumento de 66% nas vendas de bicicletas em 2020, diz associação. *G1*, 03 2021.
- 13 BRANDÃO, M. Atendimentos a ciclistas atropelados crescem 57% de 2010 a 2019. *Agência Brasil*, 08 2020.
- 14 BRAND, C. L. van den et al. Bicycle helmets and bicycle-related traumatic brain injury in the netherlands. *Neurotrauma Reports*, p. 201–206, 2020.
- 15 ORGANIZATION, W. H. New zealand: Changing patterns of bicycle injurie. *World Health Organization Helmet Initiative*, 2010.

- 16 CASERTA, G.; IANNUCCI, L.; GALVANETTO, U. Shock absorption performance of a motorbike helmet with honeycomb reinforced liner. *Composite Structures - COMPOS STRUCT*, v. 93, 10 2011.
- 17 BLIVEN, E. et al. Evaluation of a novel bicycle helmet concept in oblique impact testing. *Accident Analysis Prevention*, v. 124, p. 58–65, 2019. ISSN 0001-4575. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001457518303713>.
- 18 MILLS, N. et al. Fea of oblique impact tests on a motorcycle helmet. *International Journal of Impact Engineering*, v. 36, p. 913–925, 07 2009.
- 19 TINARD, V.; DECK, C.; R, W. New methodology for improvement of helmet performances during impacts with regards to biomechanical criteria. *Materials and Design*, v. 37, p. 79–88, 05 2012.
- 20 PEROTTI, A. Qfd no planejamento da qualidade de capacetes para ocupantes de motocicletas. *Revista Gestão Industrial*, v. 5, 06 2009.
- 21 KHOSROSHAHI, S. et al. Response of a helmet liner under biaxial loading. *Polymer Testing*, v. 72, 10 2018.
- 22 RIZZI, M.; STIGSON, H.; KRAFFT, M. Cyclist injuries leading to permanent medical impairment in sweden and the effect of bicycle helmets. *2013 IRCOB Conference Proceedings - International Research Council on the Biomechanics of Injury*, 09 2013.
- 23 FAHLSTEDT, M. et al. Ranking and rating bicycle helmet safety performance in oblique impacts using eight different brain injury models. *Annals of Biomedical Engineering*, Springer Science and Business Media LLC, v. 49, n. 3, p. 1097–1109, jan 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s10439-020-02703-w>.

# APÊNDICE A – CÓDIGOS EM MATLAB

## A.1 Aquisição e tratamento de dados

```

1 clear all;
2 close all;
3 clc;
4
5
6 % Acquire Data
7 s = daq.createSession('ni');
8
9 ch1=addAnalogInputChannel(s,'Dev5','ai0','Voltage');
10 ch1.Range = [-10.0 10.0];
11 % %
12 ch2=addAnalogInputChannel(s,'Dev5','ai1','Voltage');
13 ch2.Range = [-10.0 10.0];
14 % %
15 ch3=addAnalogInputChannel(s,'Dev5','ai2','Voltage');
16 ch3.Range = [-10.0 10.0];
17 % %
18 ch4=addAnalogInputChannel(s,'Dev5','ai3','Voltage');
19 ch4.Range = [-10.0 10.0];
20 %
21 ch5=addAnalogInputChannel(s,'Dev5','ai4','Voltage');
22 ch5.Range = [-10.0 10.0];
23 %
24 ch6=addAnalogInputChannel(s,'Dev5','ai5','Voltage');
25 ch6.Range = [-10.0 10.0];
26

```

```

27 %
28 taxa_aquisicao = 50000;
29 s.Rate = taxa_aquisicao;
30 tempo_aquisicao = 3; % segundos
31 s.DurationInSeconds = tempo_aquisicao;
32
33 %
34 disp('Disparo dispon vel');
35 [data,tempo] = startForeground(s);
36 disp('Aquisição encerrada')
37
38 sinal_X = data(:,1);
39 sinal_Y = data(:,2);
40 sinal_Z = data(:,3);
41 sinal_F = data(:,4);
42 sinal_V1 = data(:,5);
43 sinal_V2 = data(:,6);
44 clear data
45
46 ref = mean(sinal_X(1:taxa_aquisicao/4));
47 sinal_X = sinal_X - ref;
48 clear ref
49 sinal_smooth_X = smooth(sinal_X,100);
50
51 ref = mean(sinal_Y(1:taxa_aquisicao/4));
52 sinal_Y = sinal_Y - ref;
53 clear ref
54 sinal_smooth_Y = smooth(sinal_Y,100);
55
56 ref = mean(sinal_Z(1:taxa_aquisicao/4));
57 sinal_Z = sinal_Z - ref;
58 clear ref
59 sinal_smooth_Z = smooth(sinal_Z,100);
60
61 ref = mean(sinal_F(1:taxa_aquisicao/4));
62 sinal_F = sinal_F - ref;

```

```

63 clear ref
64 sinal_smooth_F = smooth(sinal_F,100);
65
66 ref = mean(sinal_V1(1:taxa_aquisicao/4));
67 sinal_V1 = sinal_V1 - ref;
68 clear ref
69 sinal_smooth_V1 = smooth(sinal_V1,100);
70
71 ref = mean(sinal_V2(1:taxa_aquisicao/4));
72 sinal_V1 = sinal_V2 - ref;
73 clear ref
74 sinal_smooth_V2 = smooth(sinal_V2,100);
75
76 clear ch1 ch2 ch3 ch4 ch5 ch6 s

```

## A.2 Cálculos com os sinais obtidos

```

1 clear all
2 close all
3 clc
4
5 load('') % inserir diret rio com os dados lidos
6
7 figure(1)
8 subplot(2,2,1)
9 plot(tempo,sinal_smooth_X,'k')
10 title('Eixo X')
11 xlabel('Tempo (s)')
12 ylabel('Sinal (V)')
13 subplot(2,2,2)
14 plot(tempo,sinal_smooth_Y,'k')
15 title('Eixo Y')
16 xlabel('Tempo (s)')
17 ylabel('Sinal (V)')
18 subplot(2,2,[3 4])

```

```

19 plot(tempo,sinal_smooth_Z,'r')
20 title('Eixo Z')
21 xlabel('Tempo (s)')
22 ylabel('Sinal (V)')
23 subplot('Sinais obtidos pelo aceler metro')
24
25 V_to_g = 1000/5.06; % [g/V]
26 Az_g = sinal_smooth_Z*V_to_g; % [g]
27
28 figure(2)
29 plot(tempo,sinal_smooth_F,'k')
30 g = 9.876; % [m/s^2]
31 V_to_N = 5000; % [N/V]
32 F_g = sinal_smooth_F*V_to_N/g; % [g]
33 m_suporte = 1.45; % [Kg]
34 m_cabeca = 4; % [Kg]
35 m_capacete = 0.19202; % [Kg]
36 m_total = m_suporte + m_cabeca + m_capacete; % [Kg]
37 Af_g = F_g/m_total; % [g]
38 title('Sinal obtido pela c lula de carga')
39 xlabel('Tempo (s)')
40 ylabel('Sinal (V)')
41
42 figure(3)
43 plot(tempo,Af_g,'k')
44 hold on
45 plot(tempo,Az_g,'r')
46 title('Acelera es obtidas pelos aceler metro e c lula de
      carga')
47 xlabel('Tempo (s)')
48 ylabel('Acelera o (g)')
49 legend('C lula de carga','Aceler metro')
50
51 Az_g_max = max(Az_g);
52 Af_g_max = max(Af_g);
53 fprintf('A medi o do aceler metro retornou um valor m ximo

```



```

        de %d g',round(Az_g_max))
54 fprintf('A medi o da c lula de carga retornou um valor
        m ximo de %d g',round(Af_g_max))

55
56 figure(4)
57 plot(tempo,sinal_smooth_V1,'k')
58 hold on
59 plot(tempo,sinal_smooth_V2,'r')
60 xlim([0.55 0.65])
61 ylim([-1 (min(sinal_smooth_V2)+1)])
62 title('Sinais dos sensores de proximidade')
63 xlabel('Tempo (s)')
64 ylabel('Sinal (V)')
65 legend('Sensor 1','Sensor 2')

66
67 t1 = 0.6004; % [s]
68 t2 = 0.6056; % [s]
69 d = 24.1/1000; % [m]
70 V_impacto = d/(t2-t1);
71 fprintf('A velocidade de impacto foi de aproximadamente %.2f m/s
        ',round(V_impacto,2))

```