

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

EDUARDO HIDEO GASHU, GUILHERME ALMEIDA SILIS

UMA PROPOSTA DE CLASSIFICAÇÃO DE
SEGURANÇA DE CAPACETES DE
MOTOCICLETAS

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

EDUARDO HIDEO GASHU, GUILHERME ALMEIDA SILIS

UMA PROPOSTA DE CLASSIFICAÇÃO DE SEGURANÇA DE CAPACETES DE MOTOCICLETAS

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

Orientador:
Marcílio Alves

São Paulo
2020

Agradecimentos

Ao Professor Orientador Marcílio Alves pelo acompanhamento ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Ao Matheus Ramos Vendramini pelo acompanhamento e auxílio no processo de refinamento do trabalho final.

Resumo

Motocicletas são meios de transportes de baixa segurança. Por isso o uso de capacetes de motocicleta é imprescindível para se proteger minimamente de eventuais acidentes. Porém apenas pela certificação brasileira, ABNT NBR 7471:2015, não é possível se obter muitas informações acerca do nível de segurança desses equipamento de proteção. Além disso essa norma é menos criteriosa quando comparada aos padrões estrangeiros.

Para resolver esse problema, este trabalho investiga os parâmetros relevantes para se medir em ensaios de capacete a fim de se melhorar a norma nacional. Assim desenvolve-se um modelo em elementos finitos que revelou a necessidade de testar capacetes com velocidades de até 8,5 m/s para aumentar a segurança no caso de queda em alta velocidade do motorista. Além disso, propõe-se o Procedimento G&S, que utiliza o parâmetro HIC no cálculo de nota de segurança de capacetes, a fim de trazer uma avaliação compatível o cenário brasileiro.

Outro problema encontrado na área de segurança de capacete são os procedimentos de cálculos que ocorrem durante o processo de avaliação. Os cálculos efetuados, por exemplo pela SHARP, envolvem muitos processamentos de dados que, se feitos manualmente é custoso em tempo. Assim desenvolveu-se um software para realizar automaticamente todos esses cálculos. Foram implementados o procedimento de Cálculo Sharp e o Procedimento G&S. Como resultado, o tempo de processamento médio desse software foi inferior a 300 milissegundos.

Palavras Chave: motocicletas, segurança pessoal em automóveis, segurança veicular, arquitetura de software, método dos elementos finitos

Abstract

Motorcycles are low security vehicles. For this reason, the use of motorcycle helmets is essential to minimally protect yourself from any accidents. However, only through the Brazilian certification, ABNT NBR 7471: 2015, it is not possible to obtain much information about the safety level of this protective equipment. Furthermore, this standard is less careful when compared to foreign standards.

To solve this problem, this work investigates the relevant parameters to be measured in helmet tests in order to improve the national standard. Thus, a finite element model was developed that revealed the need to test helmets with speeds up to 8.5 m / s to increase safety in the event of a high speed fall by the driver. In addition, the G&S Procedure is proposed, which uses the HIC parameter in calculating the safety rating of helmets, in order to bring a compatible assessment to the Brazilian scenario.

Another problem found in the helmet safety area is the calculation procedures that occur during the rating process. The calculations made, for example by SHARP, involve many data processing which, if done manually, is costly in time. So a software was developed to automatically perform all these calculations. The Sharp Calculation procedure and the G&S Procedure were implemented. As a result, the average processing time for this software was less than 300 milliseconds.

Keywords: motorcycles, personal safety in automobiles, vehicle safety, software architecture, finite element method

Lista de Imagens

- Figura 3.1: Risco de Severidade de Lesão; p15
- Figura 3.2: Distribuição de Óbitos por Modal; p17
- Figura 3.3: Distribuição de Óbitos por Tipo de Acidente; p17
- Figura 3.4: Distribuição de Óbitos por Orientação da Colisão; p18
- Figura 3.5: Distribuição de Óbitos pelo Tipo de Choque; p18
- Figura 3.6: Distribuição de Óbitos por Tipo de Via; p19
- Figura 3.7: Distribuição de Óbitos por Tipo de Via na Cidade de São Paulo; p20
- Figura 3.8: Curva de Tensão/Deformação do EPS; p21
- Figura 3.9: Curva de Tensão/Deformação do ABS; p21
- Figura 3.10: Modelo de Capacete + Cabeça; p22
- Figura 3.11: Aceleração vertical do ensaio de impacto do Capacete “Exemplo”; p22
- Figura 3.12: Aceleração vertical do impacto do modelo computacional, com velocidade vertical de 6 m/s; p23
- Figura 3.13: Aceleração esquerda do ensaio de impacto do Capacete “Exemplo”; p23
- Figura 3.14: Aceleração esquerda do impacto do modelo computacional, com velocidade vertical de 6 m/s; p23
- Figura 3.15: Aceleração frontal do ensaio de impacto do Capacete “Exemplo”; p24
- Figura 3.16: Aceleração frontal do impacto do modelo computacional, com velocidade vertical de 6 m/s; p24
- Figura 3.17: Aceleração absoluta do impacto do modelo computacional, com velocidade vertical de 6 m/s e horizontal de 25 m/s; p25
- Figura 3.18: Aceleração absoluta do impacto do modelo computacional, com velocidade vertical de 6 m/s e horizontal de 27,5 m/s; p25
- Figura 3.19: Aceleração absoluta do impacto do modelo computacional, com velocidade vertical de 6 m/s e horizontal de 30,5 m/s; p25
- Figura 3.20: Aceleração absoluta do impacto do modelo computacional, com velocidade vertical de 7,5 m/s; p26
- Figura 3.21: Aceleração absoluta do impacto do modelo computacional, com velocidade vertical de 8,5 m/s; p27
- Figura 3.22 Função de Fatalidade; p33
- Figura 4.1: Fluxo de avaliação de capacete à partir de seus ensaios de impacto; p34
- Figura 4.2: Arquitetura da Calculadora; p36
- Figura 4.3. Testes do Sistema; p44
- Figura 4.4. Avaliação de “example”, parte 1/3; p45
- Figura 4.5. Avaliação de “example”, parte 2/3; p45
- Figura 4.6. Avaliação de “example”, parte 3/3; p46

Lista de Tabelas

Tabela 3.1: Matriz de Ensaios; p30

Tabelas 3.2: Distribuições do perfil de impactos; p31

Tabela 3.3: Notas do Procedimento G&S; p31

Tabela 4.1: Conteúdo de linear_tests.csv; p47

Tabela 4.2: Conteúdo de oblique_tests.csv; p47

Tabela 4.3: Conteúdo de sharp_tests.csv; p48

Tabela 4.4: Conteúdo de sharp_result.csv; p48

Tabela 4.5: Conteúdo de gs_tests.csv; p49

Tabela 4.6: Conteúdo de gs_result.csv; p49

Sumário

1. Introdução	10
1.1. Motivação	10
1.2. Objetivos	10
2 Estado da arte	12
3 Estudo de acidentes e como aumentar a segurança	14
3.1 Norma brasileira sobre capacetes	14
3.1.1. Como é a norma	14
3.1.2. Deficiências	14
3.2. Requisitos (seus requisitos silis)	15
3.3. Acidentes de Motocicleta no Estado de São Paulo	16
3.3.1 Exposição dos dados	16
3.4. Desenvolvimento	19
3.4.1 Aumentando a segurança do teste pela velocidade de teste	19
3.4.2. Hipótese Número 1	19
3.4.3 hipótese número 2	20
3.5. Nota de Segurança de Capacete Utilizando HIC (Head Injury Criteria)	27
3.5.1. HIC (Head Injury Criteria) e a sua relação com Lesão na Cabeça	27
3.5.2. Proposta de Procedimento de Cálculo: Procedimento G&S	28
4. Calculadora de Nota de Segurança de Capacete (Calculadora G&S)	33
4.1. Contexto	33
4.2. Objetivo	35
4.3. Requisitos	35
4.4. Arquitetura do Software	36
4.4.1. Application (Camada de Aplicação)	37
4.4.2. User Interface (Camada de Interface com Usuário)	37
4.4.3. Domain (Camada de Domínio)	37
4.4.4. Infrastructure (Camada de Infraestrutura)	38
4.5. Modelagem dos dados: Data e Entities	38
4.5.1. Data (Base de Dados)	38
4.5.1.1. Descrição dos tipos de dados	38
4.5.1.2. Organização dos Diretórios	41
4.5.2. Entities (Entidades)	41
4.6. Tecnologias e Dependências	41
4.7. Instruções de Uso:	42
4.7.1. Configurando o Ambiente, Executando Testes de Validação e Executando a Calculadora	42

4.7.2 Operando a calculadora	43
4.8. Execução de Exemplo e Resultados	44
5. Discussão e Conclusões	50
5.1. Discussões dos Resultados	50
5.1.1 Teste e segurança dos capacetes	50
5.1.2. Calculadora	50
5.2. Conclusões	51
Referências	52
APÊNDICE 1: Dedução da Fórmula de HIC Oblíquo Equivalente (HICeq)	56

1. Introdução

1.1. Motivação

As motocicletas são um dos principais meios de transporte no cotidiano das pessoas, mas levam a acidentes graves devido a sua baixa segurança. Segundo a Infosiga [1], foram registrados 7956 acidentes de motocicletas com óbitos desde 2015 até abril de 2019, o que representa 32,15% dos acidentes de trânsito com óbito no Estado de São Paulo registrados nesse mesmo período.

Para proteger minimamente os pilotos de motocicletas, é imprescindível o uso do capacete de segurança. Porém a norma de certificação nacional dos capacetes, a ABNT NBR 7471:2015 [2], não fornece muitas informações sobre o nível de segurança desses equipamentos e, além disso, possui um rigor inferior ao padrão exigido pelas normas Européias. Assim, torna-se difícil aos motociclistas escolherem seus equipamentos de segurança baseados em outros critérios além da estética e do preço.

Deseja-se com esse trabalho entender os parâmetros relevantes nos testes de capacetes para se desenvolver melhorias em sua avaliação de segurança e propor uma solução para calcular os resultados dos teste.

Neste trabalho, entenda-se **capacete** especificamente como **capacetes de motocicleta**.

1.2. Objetivos

- Melhorar o método de avaliação de segurança de capacetes de motocicleta, a fim de complementar a norma brasileira [2].
- Desenvolver um software para cálculo automático das notas a partir dos dados experimentais.

1.3. Estrutura do Trabalho

Este trabalho busca apresentar os cenários nacional e internacional de segurança de capacetes, do ponto de vista de suas normas de certificação, incluindo estudos existentes sobre modelagem de lesão na cabeça. A partir da revisão do estado da arte e pela investigação das técnicas e parâmetros envolvidos na avaliação dos capacetes, é proposto o desenvolvimento de um software que avalia quantitativamente, por meio de notas, a segurança de capacetes.

O trabalho possui duas frentes principais:

- Proposta de melhoria no procedimento de teste e critérios de avaliação da certificação nacional;
- Proposta de software para calculadora de nota de segurança de capacete.

Para atender a essas duas frentes, o trabalho foi dividido em capítulos. O Capítulo 2 apresenta o estado da arte na área de capacetes enquanto que o Capítulo 3 apresenta uma

tentativa de encontrar os principais motivos para as mortes dos motociclistas e um modelo em elementos finitos validado com dados experimentais e uma série de simulações que buscam entender os efeitos na cabeça do motorista em casos de quedas para testar hipóteses e tentar melhorar o teste brasileiro atual.

O Capítulo 4 apresenta a construção da solução da calculadora, descrevendo o contexto do software, os requisitos, a arquitetura do software, os detalhes das tecnologias utilizadas e das dependências necessárias, os dados envolvidos e o modo de configuração e de operação do software.

O Capítulo 5 apresenta os resultados de ambas as frentes de trabalho, os discute e os analisa. Por fim, apresentam-se as conclusões.

2 Estado da arte

Diante do fato de que se quer categorizar o nível de segurança dos capacetes comercializados no Brasil e realizar isto conforme a realidade financeira do brasileiro, o trabalho será baseado na norma NBR 7471 [2], para se obter os parâmetros técnicos médios para os testes, e no procedimento Sharp Testing [3], como modelo estrutural para desenvolver a categorização. Portanto já existem casos de sucesso de categorização de segurança de capacetes para se basear.

A norma brasileira [2] é a regulamentação mais atual do Brasil referente a capacetes. Ela prescreve uma série de testes: Impacto do capacete contra uma bigorna plana, a uma velocidade de 7m/s, e uma bigorna hemisférica, a uma velocidade de 6m/s. O capacete é aprovado somente se as acelerações medidas da cabeça de teste forem menores que 300g e se não sofrerem uma aceleração de 150g ou maior por mais de 5 ms. A norma também especifica testes para garantir a qualidade do cinto do pescoço e da resistência da viseira contra objetos pontiagudos.

Nos Estados Unidos a regulamentação é a Snell [4] que tem testes parecidos com a NBR 7471 [2], porém ainda conta com um teste de proteção contra objetos pequenos em alta velocidade (balas) contra a viseira e um teste de resistência ao calor. O teste de impacto aqui é feito com 6 superfícies diferentes (plana, hemisférica, paralelepípedo, barra redonda, prismática e bigorna tipo ferradura) com uma velocidade que varia dependendo do tamanho da cabeça e vai até 7.75 m/s. Os capacetes são reprovados se atingirem uma aceleração de pico determinada de acordo com o tamanho da cabeça e esse valor varia de 275g a 243g.

A ECE 22.05 [5] é uma outra legislação europeia menos rigorosa do que a SHARP[3], que faz alguns teste parecidos com a norma brasileira. O teste de impacto é feito a uma velocidade 7.5 m/s para todas as superfícies de impacto da casca do capacete, menos a proteção do queixo que é feito a 5.5m/s e as superfícies de impacto são: uma superfície plana e uma superfície prismática com ângulo de 105° e ponta arredondada. Os capacetes são reprovados se atingirem uma aceleração de pico de 275g ou um valor no Head Injury Criteria [9] maior que 2400.

O Sharp Testing [3] faz 32 testes com cada marca de capacete e mede a aceleração máxima e então relaciona essa aceleração ao risco de fatalidade do usuário. Daí classifica o capacete de 0 a 5 estrelas de acordo com o maior risco. Diferentemente da NBR 7471 [2], o teste é realizado em 3 velocidades diferentes (6 ; 7,5 e 8,5 m/s) contra bigorna plana e bigorna em formato de quina enquanto que na NBR o teste é feito em bigorna abaulada a 6m/s e a 7m/s na bigorna plana. É perceptível que a norma europeia é bem mais rígida. Para se conseguir as 5 estrelas nesse teste o capacete deve ser tecnologicamente superior o que implica em preços bem superiores, £399.00 ~ £549.99, distantes da realidade financeira do brasileiro.

O trabalho de Madelen, Peter e Svein[6] tenta reproduzir 3 acidentes reais em que houve fratura no crânio e lesão no cérebro, com a vítima sem capacete. Com base na

reconstrução numérica do acidente, comparam os resultados dessa simulação com uma em que as vítimas estariam usando capacete, para assim concluir qual é a eficácia dos capacetes. Nas simulações usando o software LS Dyna, o chão foi tido como uma superfície rígida, o coeficiente de fricção entre a cabeça e capacete e capacete/cabeça e chão foi de 0,5. O modelo conseguiu reproduzir aproximadamente o dano observado nas imagens de ressonância magnética das vítimas e concluiu que o uso de capacete reduziria em muito o dano cerebral.

Focando no modelo da cabeça, há o trabalho de Noritoshi, Yuko e Masami[7] que, para descobrir qual a influência dos impactos rotacionais nas lesões cerebrais em acidentes, trabalha com dois modelos extremamente detalhados, que segmenta o interior do crânio em duas partes: o cérebro e o tecido (CSK) entre o cérebro e o crânio. Eles também usam o software LS Dyna para fazer as simulações e nessa simulação são considerados diversas propriedades para simular o cérebro e o CSK, o que pode vir a ser útil ao desenvolver nosso próprio modelo.

Existem pesquisas que buscam saber como ocorre a fratura do crânio, como é o caso da pesquisa de Debasis, Caroline, Narayan e Rémy[8], que realizaram uma otimização de um modelo já existente baseando-se na reconstrução de casos de traumas cranianos bem documentados. Através das simulações feitas no software LS Dyna eles concluíram que o parâmetro mais robusto da simulação para afirmar que houve fratura no crânio foi a energia absorvida pelo crânio. Valores de 453 mJ representam um risco de 50% de fratura no crânio.

O artigo Finite Element Analysis of Impact for Helmeted and Non-helmeted Head [10] desenvolve um modelo no abaqus do impacto de uma cabeça com capacete e sem capacete. A validação usa resultados de um outro artigo que realizou impactos com cabeça de cadáver. Ele desenvolve uma geometria do crânio e cérebro por meio de tomografia, o material do cérebro é do tipo viscoelástico, o do crânio é isotrópico e do CSK é elástico, com coeficientes de fricção de 0.4.

É interessante citar também a regulamentação da FIA [11] que determina as regras de segurança da fórmula 1 que demanda testes bem mais rigorosos como velocidade de impactos de 9.5m/s e superfícies de impactos planas, hemisféricas, prismáticas triangulares e barra redonda.

3 Estudo de acidentes e como aumentar a segurança

3.1 Norma brasileira sobre capacetes

3.1.1. Como é a norma

O objetivo da norma é especificar os requisitos de construção e desempenho, os métodos de ensaio e os requisitos de rotulagem dos capacetes de proteção para motociclistas e similares. A função primária dos capacetes abrangidos por esta Norma é a de minimizar o risco de ferimentos na cabeça de condutores e passageiros de ciclomotores, scooters, motocicletas, triciclos e quadriciclos motorizados, em condições normais de tráfego. E a referência normativa é a ISO 6487:1987 - Road vehicles - Measurement techniques in impact tests - Instrumentation.

O texto descreve como devem ser realizados os testes, a instrumentação e aparelhos, condicionamento, rotulagem e as regras para aprovar o capacete. Os teste que um capacete são submetidos são: Ensaio de resistência à deformação por esforço longitudinal e transversal, Ensaio do sistema de retenção, Ensaio de resistência ao descalçamento, Ensaio da Viseira, e ensaio de absorção de impacto. Neste último ensaio é realizado impactos na região frontal, na lateral e na nuca a uma velocidade de 7 m/s contra uma bigorna plana com 130 mm de raio e com uma velocidade de 6 m/s contra uma bigorna hemisférica de raio 50 mm.

Um capacete para ser aprovado deve diminuir a aceleração do capacete para menos de 300 g e não permitir uma aceleração de 150 g por mais de 5 ms.

3.1.2. Deficiências

Para calcular o desempenho dos capacetes testado pela norma SHARP [11], esta desenvolveu uma função que relaciona a aceleração do cérebro com a gravidade do dano cerebral como é demonstrado pela Figura 3.1, retirada do documento [11], baseado nos estudos da COST 327 [12].

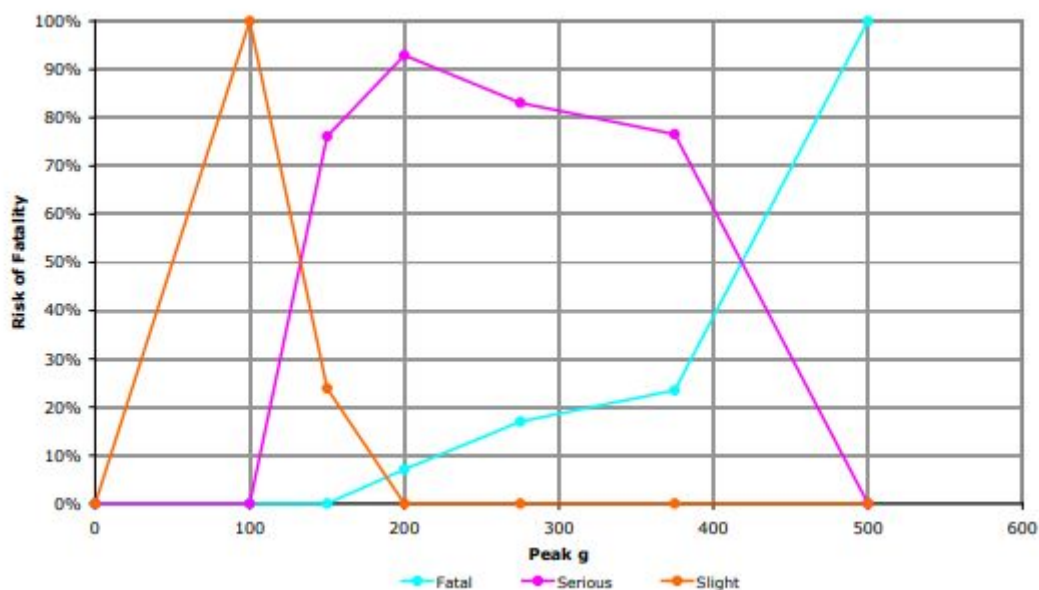


Figura 3.1: Risco de Severidade de Lesão, retirado da Sharp [11]

Assim nota-se que uma aceleração de 300 g que é o limite da norma brasileira ainda tem uma chance de ~18% de sofrer um dano fatal e ~82% de chances de sofrer uma lesão séria.

Um outro ponto é que no teste é feita a colisão dos capacetes com uma superfície plana e uma outra hemisférica. Isto não reflete a totalidade de objetos contra os quais ocorre colisão do motociclista ou pode haver, que será provado mais a frente no texto, e está também em discordância com a SHARP [3], que realiza impactos contra um objeto em forma de quina e contra superfície inclinada, e com a Snell [4] que realiza impactos contra barras redondas, paralelepípedos, objeto em forma de quina e etc.

Uma outra deficiência da norma é ser binária. Da Figura 3.1 um capacete que passe na norma, porém consiga uma aceleração inferior a 150 g, ou seja, não oferece chances de dano cerebral grave, é um capacete muito mais seguro que um que obteve uma aceleração por volta de 300 g e não tem nenhuma vantagem sobre esse, ou seja, não há incentivo para melhorar a segurança.

Comparando com a SHARP [3] essa norma testa duas outras velocidades 7,5 e 8,5 m/s o que adiciona de 50% a 100% mais energia no impacto, portanto é muito mais rigorosa e não só considera os 6 m/s que é equivalente a uma queda do motorista da motocicleta.

3.2. Requisitos (seus requisitos silis)

3.1 Melhorar o testes de impactos em que um bom desempenho representa, substancialmente mais que a norma atual brasileira, a realidade dos acidentes brasileiros, assim como fez a SHARP [3] no continente europeu e a Snell [4] nos Estados Unidos e que ajudem a diminuir a mortalidade nos acidentes de motocicletas.

3.3. Acidentes de Motocicleta no Estado de São Paulo

O programa Respeito à Vida [1] disponibiliza um histórico de acidentes de trânsito fatais ocorridos no Estado. Esse banco de dados está disponível no link <http://www.infosiga.sp.gov.br/Home/Relatorio>. Baseados nesses dados, obteve-se algumas estatísticas. Vale ressaltar que tentou-se encontrar essa mesma base de dados em uma escala nacional, porém não foi encontrado, mas mesmo assim é uma excelente amostra do estado mais populoso da federação e pode dar uma boa representatividade do total, porém não exata.

3.3.1 Exposição dos dados

A partir do histórico de acidentes de trânsito fatais do programa Respeito à Vida [1], considerado até Abril de 2019, foram levantadas as seguintes estatísticas:

- Distribuição e Histograma dos óbitos por modais de locomoção, apresentados respectivamente na Figura 3.2 - **modais de locomoção** se refere a forma de locomoção da pessoa acidentada;
- Distribuição dos tipos de acidentes de motocicleta, apresentado na Figura 3.3 - nesta distribuição de frequências, **colisão** se refere a acidentes envolvendo dois veículos, **choque** se refere a acidentes envolvendo veículo em movimento e outro objeto estacionado, **atropelamento** se refere a acidentes envolvendo veículo e pessoa/animal sem veículo, **outros** se refere a acidentes que não se enquadram aos anteriores e **não disponível** se refere a acidentes sem essa informação;
- Distribuição dos tipos de colisões de motocicleta, apresentado na Figura 3.4 - nesta distribuição de frequências, as colisões foram separadas pela orientação do veículo do motociclista, são elas: frontais, laterais, transversais e traseiras;
- Histograma dos tipos de choques de motocicleta, apresentado na Figura 3.5 - neste gráfico, as frequências foram distribuídas entre diversos obstáculos estáticos típicos presentes nas vias;

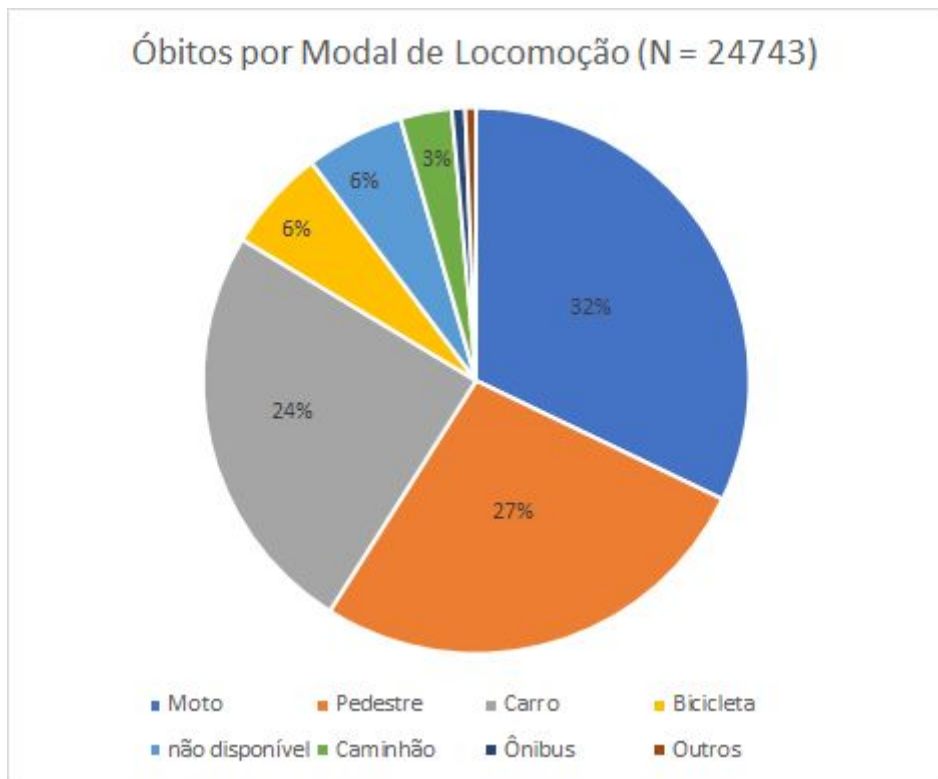


Figura 3.2: Distribuição de Óbitos por Modal, autoria própria

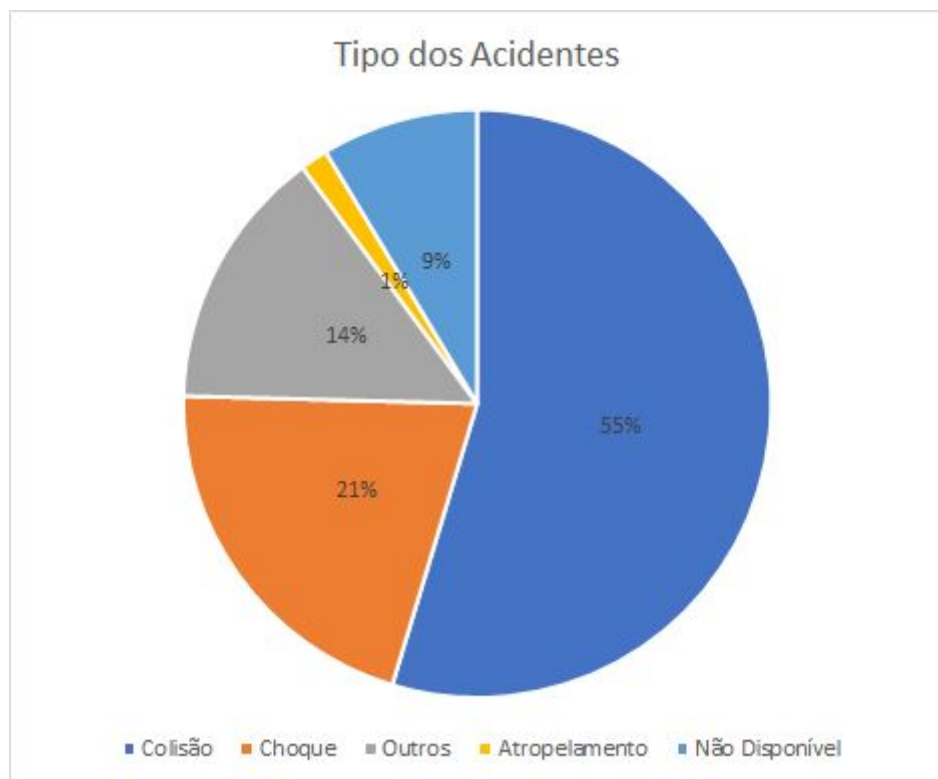


Figura 3.3: Distribuição de Óbitos por Tipo de Acidente, autoria própria

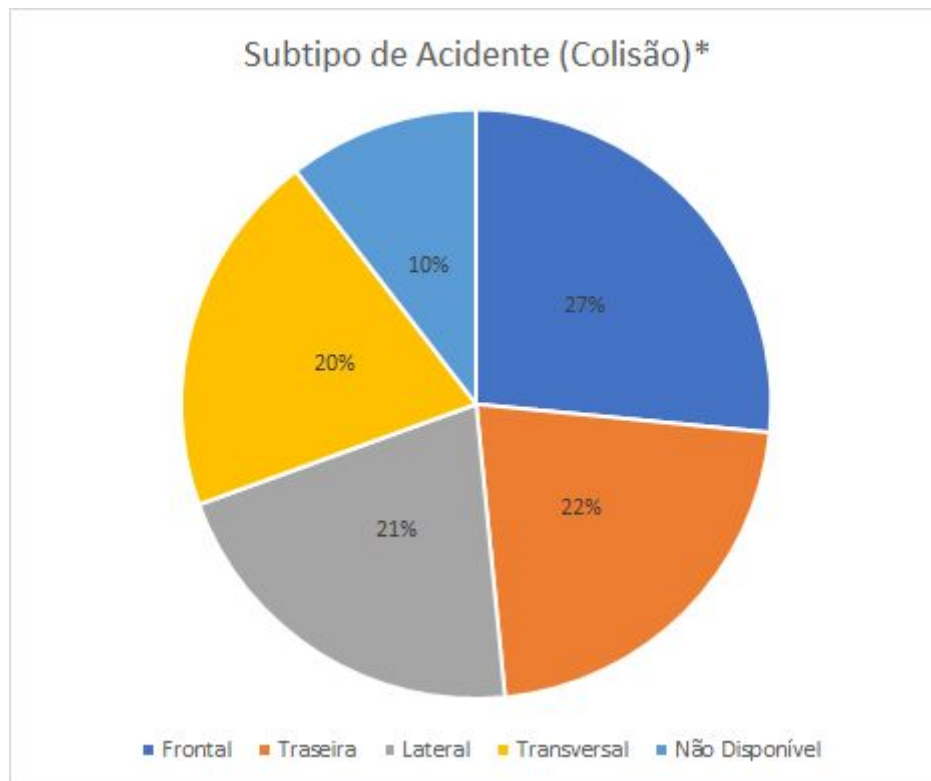


Figura 3.4: Distribuição de Óbitos pelos Tipos de Colisão autoria própria

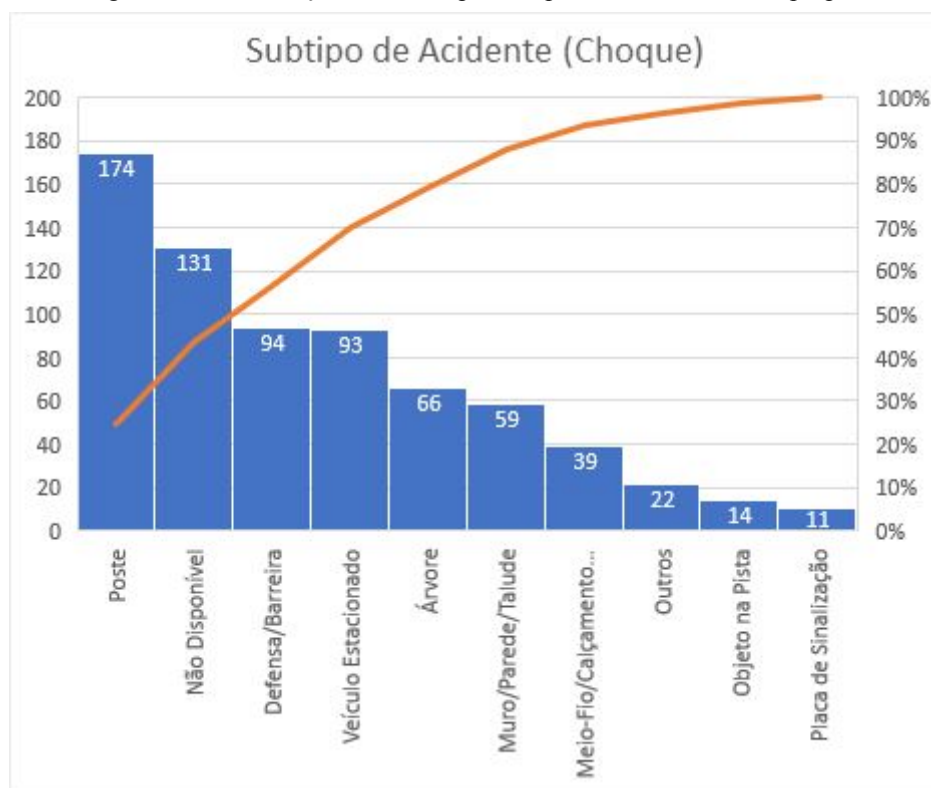


Figura 3.5: Distribuição de Óbitos pelo Tipo de Choque, autoria própria

3.4. Desenvolvimento

3.4.1 Aumentando a segurança do teste pela velocidade de teste

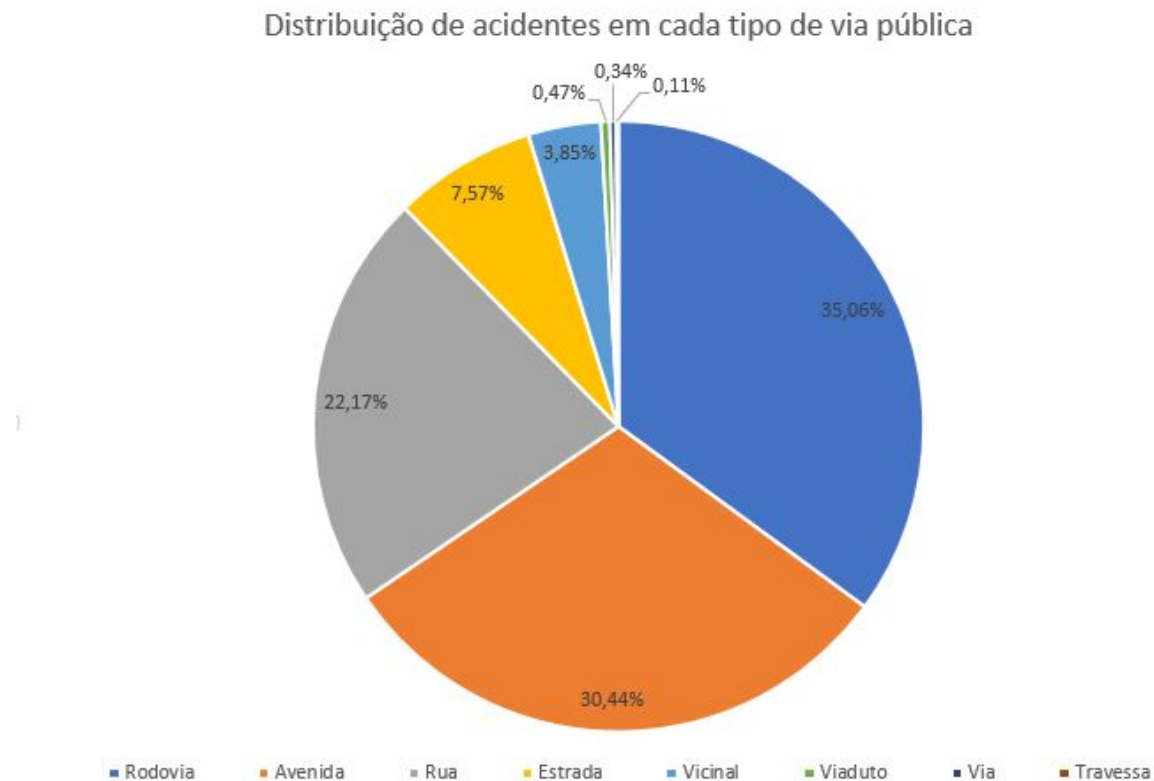


Figura 3.6: Distribuição de Óbitos por Tipo de Via, autoria própria

Como é possível observar na Figura 3.6 há uma predominância na porcentagem de mortes de 87,61 nas via do tipo rodovia, avenida e rua, para esses números há duas hipóteses ou 1 - esse número se dá pela proporcionalidade do fluxo de pedestres, ou seja, mais pessoas vão a óbitos nesses locais porque mais pessoas frequentam esses lugares, ou 2 - o número de óbitos está relacionado a velocidade de cada modal, o que apresenta indícios já que com o aumento da velocidade aumenta a porcentagem de mortes.

3.4.2. Hipótese Número 1

De acordo com a base de dados de listagem de vias do Município com a respectiva classificação vigente a partir de 01/11/2019[17] tem-se a seguinte distribuição de vias para a cidade de São Paulo:

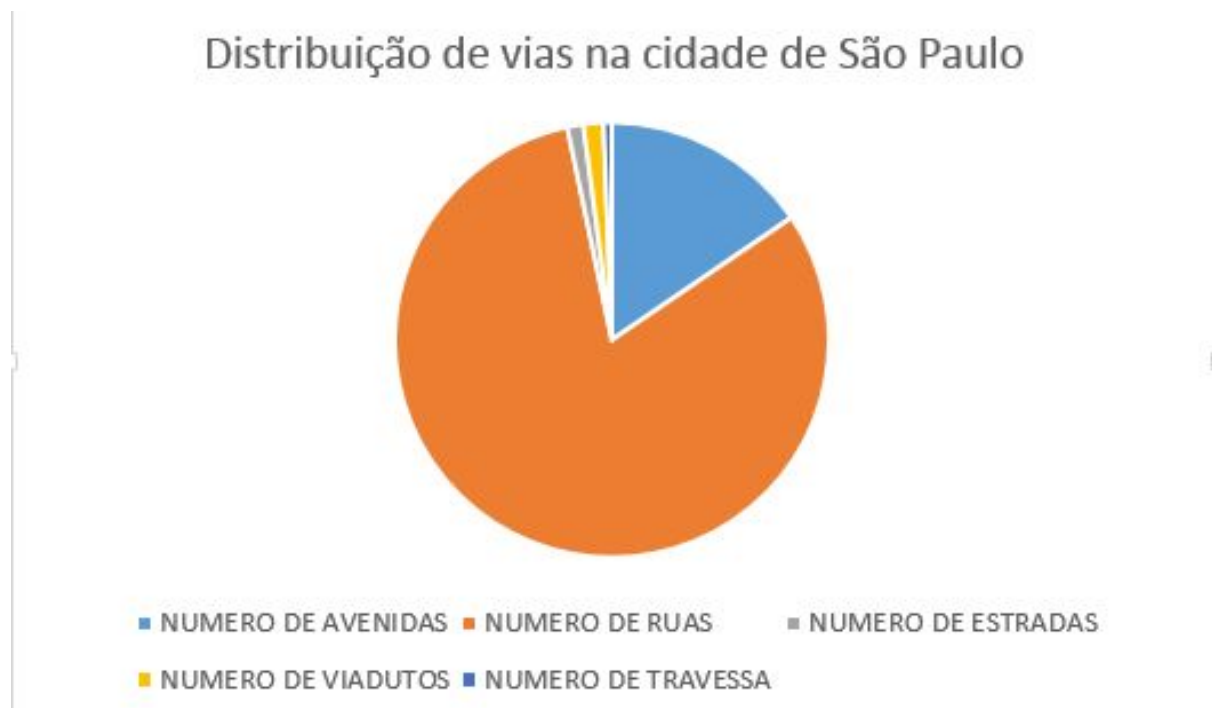


Figura 3.7: Distribuição de Óbitos por Tipo de Via na Cidade de São Paulo, autoria própria

O DER/SP [18] tem em torno de 190 rodovias em sua administração, diante disso e supondo que as cidades do estado tem a proporção avenida por ruas igual ou menor que a da capital tem-se que o tráfego de motocicletas se passa muito mais em ruas do que em avenidas e que se passa mais em avenidas do que em rodovias. Porém no gráfico de óbitos por via tem-se que a distribuição de mortes é maior nas rodovias seguido por avenidas e ruas, o que aparentemente não há nenhuma relação entre os dois, pois os dados deveriam apresentar um maior número de mortes em ruas, afinal é onde possivelmente se dá o maior tráfego de motocicletas.

Assim conclui-se que essa hipótese não é validada pela realidade completamente.

3.4.3 hipótese número 2

Para aferir a segunda hipótese foi realizada uma simulação no software Abaqus 6.14 de uma cabeça esférica puramente elástica de diâmetro 244 mm, 7 kg de massa, módulo de elasticidade $E = 8 \text{ GPa}$ e poisson $= 0,22$, propriedades retirada do artigo Finite Element Analysis of Impact for Helmeted and Non-helmeted Head [9] com um capacete deformável revestido internamente por 45mm de EPS, módulo de elasticidade $E = 7,5 \text{ MPa}$, poisson $\nu = 0.01$, densidade de 60 kg/m^3 e curva de tensão deformação modela como a da Figura 3.8, e com uma casca de 2mm de ABS pelo, $E = 2 \text{ GPa}$, $\nu = 0.37$ densidade de 1200 kg/m^3 e curva modelada com a Figura 3.9 e método dinâmico explícito. As condições iniciais da simulação serão: velocidade na vertical igual a 6 m/s , velocidade horizontal variável de acordo com a velocidade média das vias, acelerações iguais a zero, e a distância do solo será praticamente

nula. As desacelerações vertical (eixo z), lateral (eixo y) e frontal (eixo x) da esfera foram medidas.

O Coeficiente de fricção entre solo e casca de ABS é de 0,4 e entre a casca e a espuma bem como espuma com cabeça é de 0,2

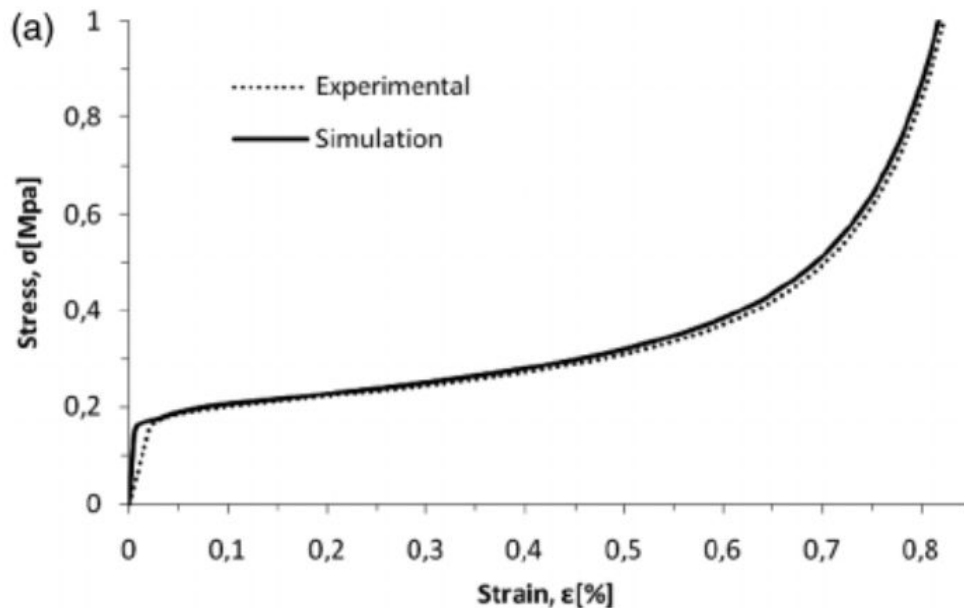


Figura 3.8: Curva de Tensão/Deformação do EPS, retirada do artigo [25]

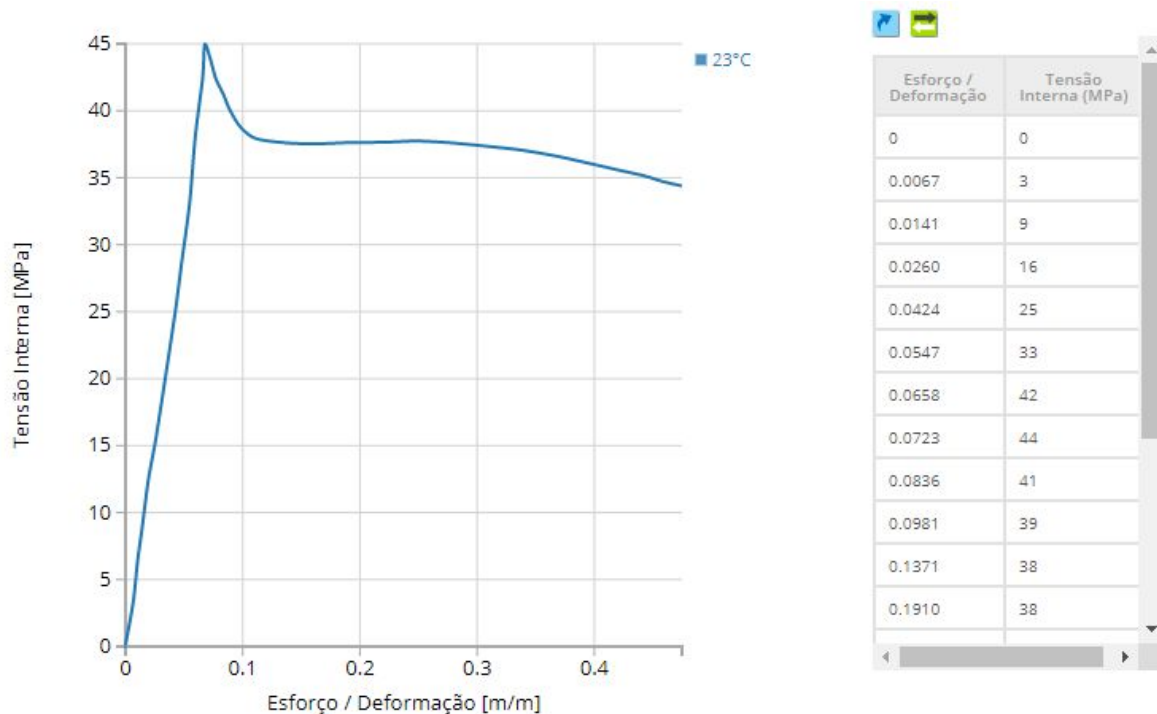


Figura 3.9: Curva de Tensão/Deformação do ABS, retirada do site <https://www.totalmateria.com>

O modelo segue como base que o piloto sofreu um lançamento somente com velocidade horizontal e sua cabeça estava por volta de 2 m do solo, um modelo similar a esse considerando somente a velocidade de impacto gerada pela queda da cabeça é estimado pelas normas como diz o site helmets.org[19], porem não é somente isso, seguindo o trabalho de

proporção Antropométricas [20] tem-se que a distância do centro da cabeça até o assento da moto é de 40% da altura da pessoa o que para um homem adulto brasileiro seria em torno de 40% de 1,70 m que é 680 mm o blog motosblog.com.br[21] compilou uma série de altura de assento de diversas motos baixas e pela média a altura desses assentos é por volta de 730 mm, assim sendo a cabeça está por volta de 1,4m do chão o que não é muito longe do valor de 2 m de queda livre para chegar a 6 m/s ou o valor testado pela a norma ABNT NBR 7471:2015 [2] .

A vista em corte da montagem mais capacete é a seguinte:

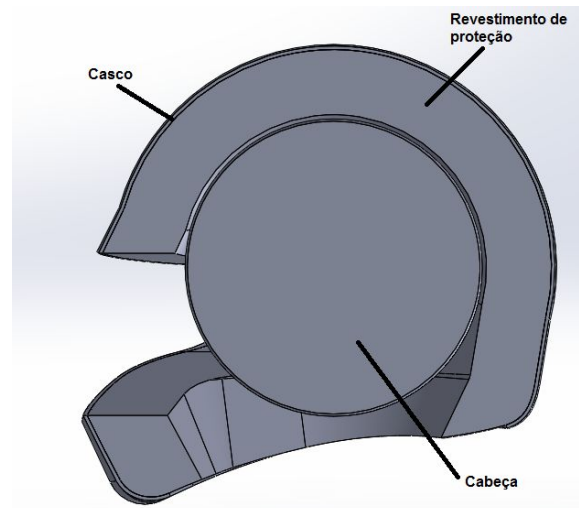


Figura 3.10: Modelo de Capacete + Cabeça. Autoria própria

As velocidades da esfera do modelo nos três eixos foram medidas e com esse dado foi retirada a aceleração da esfera. Aplicou-se, então, o filtro de média móvel nessa aceleração para diminuir o ruído. Depois desse tratamento dos dados foi comparado com um experimento real com a mesma velocidade, região de impacto e nos moldes da SHARP.



Figura 3.11: Aceleração Vertical do ensaio de impacto do Capacete “Exemplo”, a 6 m/s, impacto do topo do capacete, contra bigorna plana, retirado de [24]

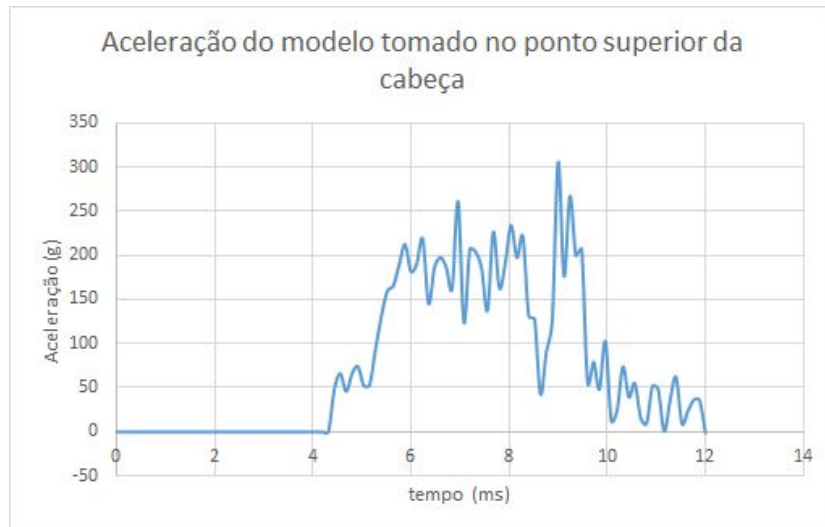


Figura 3.12: aceleração vertical do impacto do modelo computacional, com velocidade vertical de 6 m/s. Autoria própria



Figura 3.13: Aceleração esquerda do ensaio de impacto do Capacete “Exemplo”, a 6 m/s, impacto do topo do capacete, contra bigorna plana, retirado de [24]

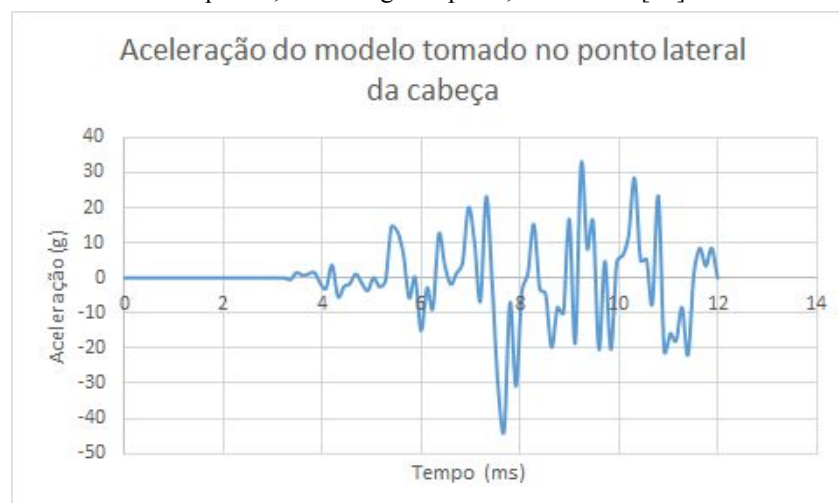


Figura 3.14: aceleração esquerda do impacto do modelo computacional, com velocidade vertical de 6 m/s. Autoria Própria

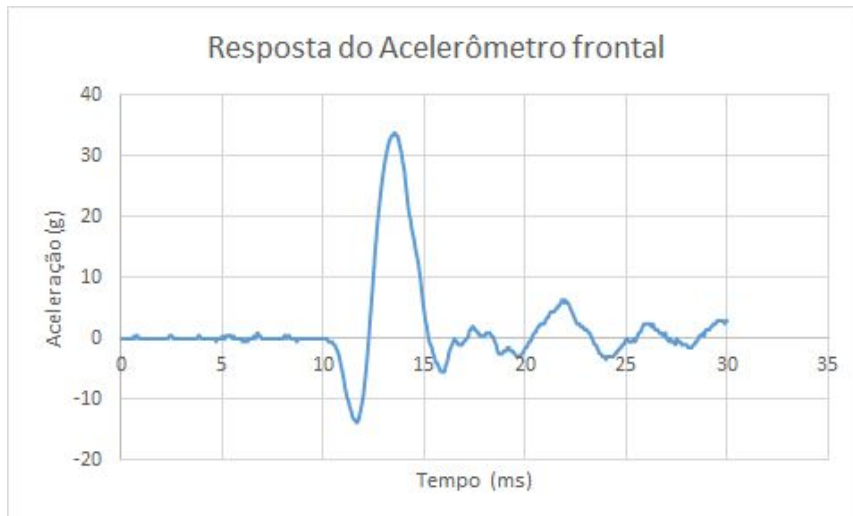


Figura 3.15: Aceleração frontal do ensaio de impacto do Capacete “Exemplo”, a 6 m/s, impacto do topo do capacete, contra bigorna plana, retirado de [24]

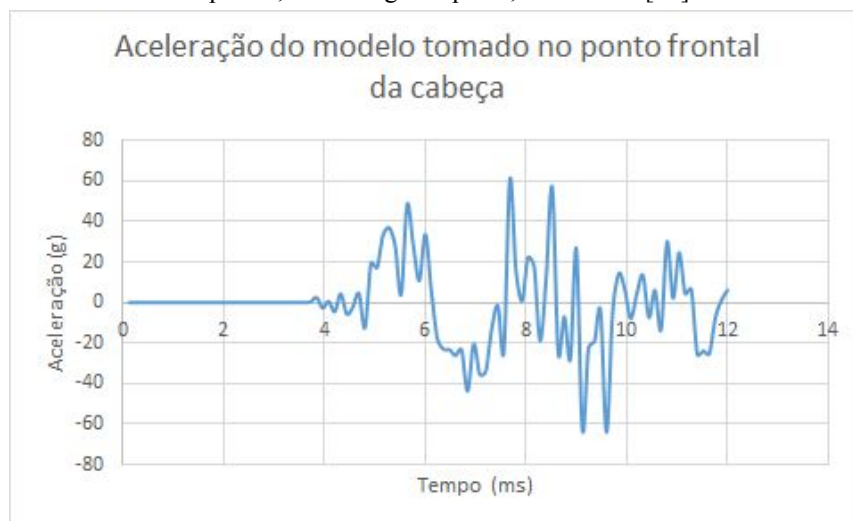


Figura 3.16: aceleração frontal do impacto do modelo computacional, com velocidade vertical de 6 m/s. Autoria própria

Pode-se ver o modelo representa muito bem o que acontece na região de impacto do capacete, mas tem um desvio em comparação com o experimento nos eixos y e z.

Com o modelo validado variou-se as velocidades nas próximas simulações e calculou-se a magnitude da aceleração por meio da variação de velocidade em cada direção da cabeça. Os resultados foram o seguinte:

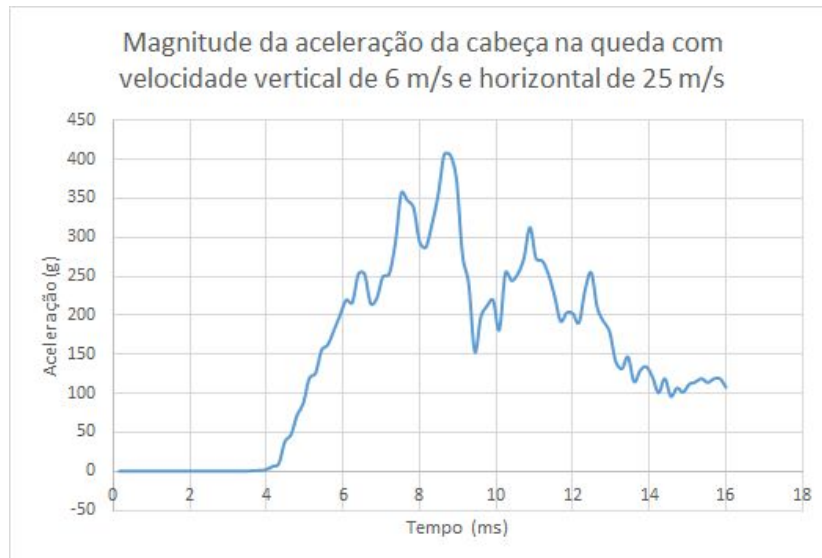


Figura 3.17: aceleração absoluta do impacto do modelo computacional, com velocidade vertical de 6 m/s e horizontal de 25 m/s. Autoria própria

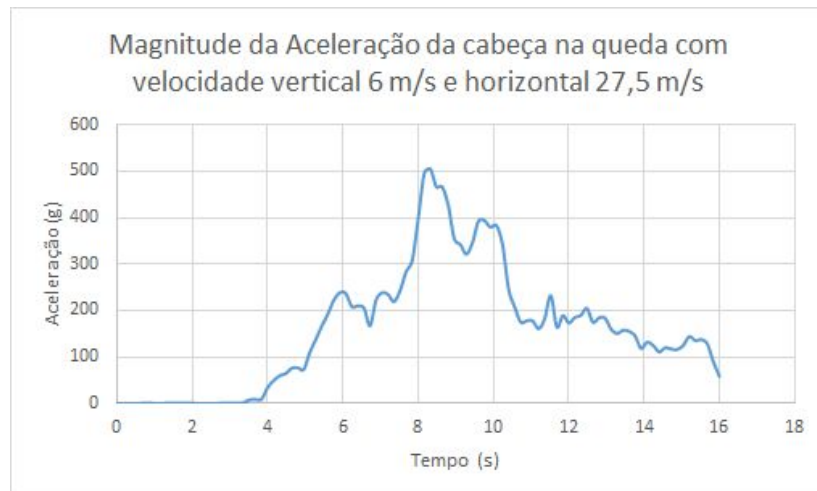


Figura 3.18: aceleração absoluta do impacto do modelo computacional, com velocidade vertical de 6 m/s e horizontal de 27,5 m/s. Autoria própria

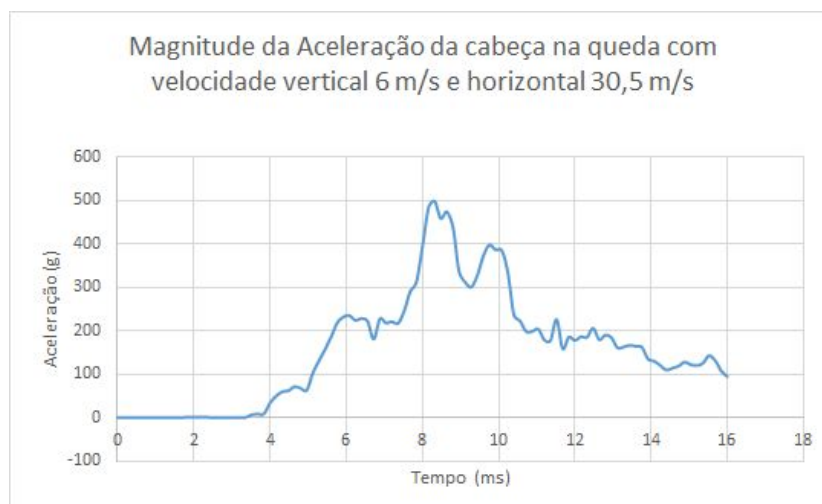


Figura 3.19: aceleração absoluta do impacto do modelo computacional,

com velocidade vertical de 6 m/s e horizontal de 30,5 m/s

Comparando as curvas entre si, a diferença é que a um aumento gradual no pico conforme aumenta-se a velocidade porém não muito substancial, mas nota-se que comparando com a aceleração na vertical, que praticamente é a única que contribui com a magnitude, do experimento nota-se um aumento muito substancial que de acordo com o critério da da figura 1 sairia de 8% de chance de morte para 40% o que indica que o teste da ABNT NBR 7471:2015 [2] não assegura casos em que a queda do passageiro da moto em alta velocidades.

Aqui dá indícios de que a hipótese estar certa pois conforme a velocidade aumenta a aceleração aumenta, porém esse caso de queda em alta velocidade não é o único e aparentemente não é o que descreve o fenômeno. É mais provável que os choques diretos com objetos sejam a causa de mais mortes nessas vias, o gráfico da figura 5 diz que a maior causa de morte é colisão, assim colisões com velocidades superiores a 80 km/h a energia na cabeça é tão maior que nenhum capacete suportaria essa carga então concluiu-se que não é possível melhorar a segurança dos capacetes seguindo por essa hipótese.

Apesar disso com nossas simulações propôs-se uma nova velocidade de testes que dão mais confiança para os capacetes em situações de queda em altas velocidades. Para isso simulou-se com duas velocidades de queda diferente e com velocidade horizontal zero.

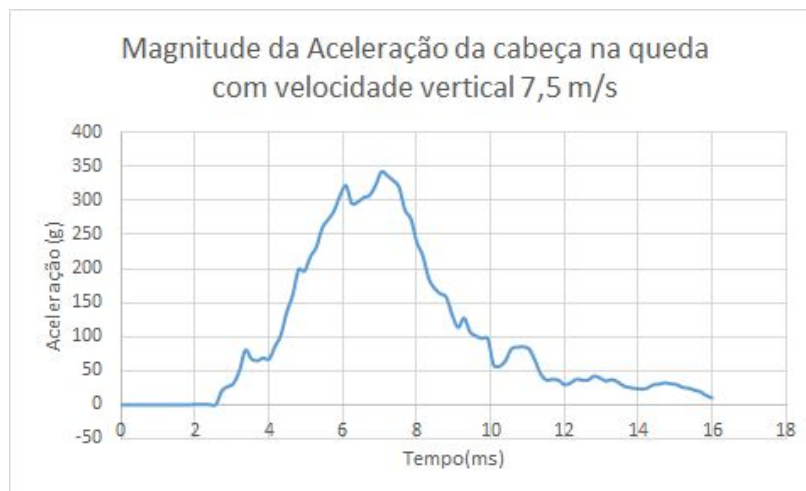


Figura 3.20: Aceleração absoluta do impacto do modelo computacional, com velocidade vertical de 7,5 m/s. Autoria Própria

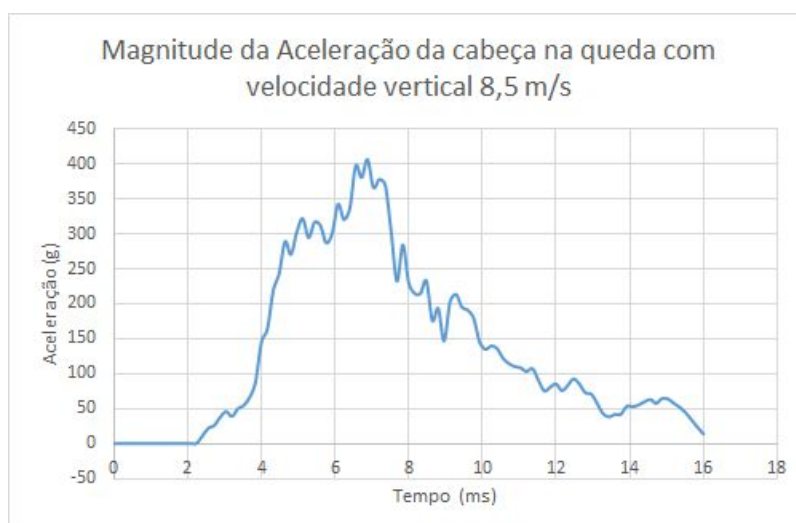


Figura 3.21: Aceleração absoluta do impacto do modelo computacional, com velocidade vertical de 8,5 m/s. Autoria Própria

A partir da comparação desses resultados com os resultados da simulação com velocidade horizontal tem-se que tanto o pico de aceleração como o tempo de duração é bem próximo das simulações com velocidade horizontal de 25; 27,5 e 30,5, assim considerou-se que um teste na velocidade de 8,5 m/s de impacto representaria mais fielmente quedas em ruas, avenidas e rodovias.

O modelo tem algumas limitações, como não se conseguiu modelar a parte de fratura dos objetos, a cabeça não tem as dimensões precisas e o capacete é bem simplificado o que poderiam resultar em acelerações menores assim o modelo fornece uma estimativa de como é a dinâmica dos impactos, mas ainda comparativamente tem resultados que indicam que o aumento da velocidade de testes é necessária.

3.5. Nota de Segurança de Capacete Utilizando HIC (*Head Injury Criteria*)

3.5.1. HIC (*Head Injury Criteria*) e a sua relação com Lesão na Cabeça

O HIC é um índice amplamente utilizado em avaliação de lesão na cabeça em testes de segurança de veículos e de equipamentos de proteção. É definido segundo a seguinte expressão:

$$HIC = \left\{ \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} (a * dt) \right]^{2,5} * (t_2 - t_1) \right\}_{max}$$

Nessa expressão, a é a aceleração do centro de massa da cabeça medida em g, ou seja, é uma aceleração normalizada pela aceleração da gravidade, e t_1 e t_2 determinam o intervalo em que HIC atinge o valor máximo durante o impacto da cabeça. Os valores de $t_2 - t_1$

normalmente adotados são de 36 milissegundos ou 15 milissegundos, sendo que o valor de referência HIC adotado como limite de segurança é de 1000 [15].

Carollo [22] (apud Prasad e Mertz) utiliza em seu trabalho uma função que relaciona Probabilidade de Fatalidade com o HIC apresentada na Figura 3.22:

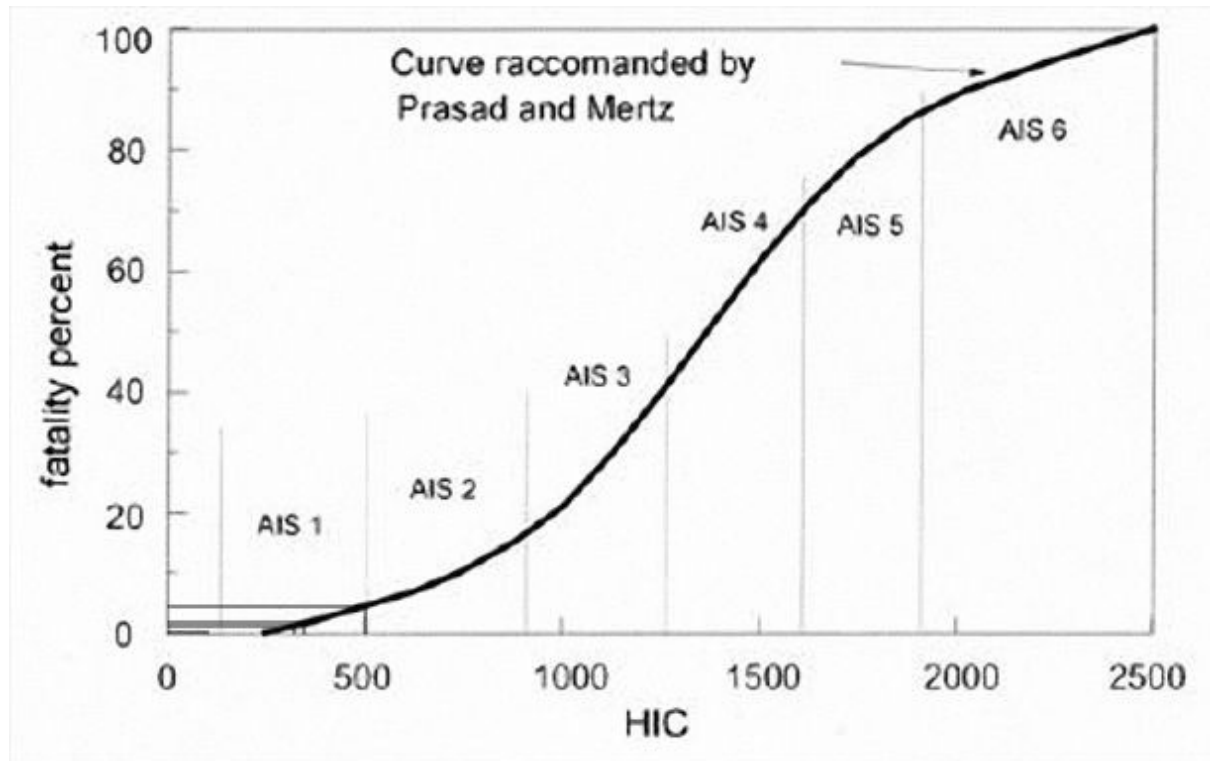


Figura 3.22 Função de Fatalidade. Retirado de [22]

Nessa função, o HIC é calculado utilizando-se um intervalo $t_2 - t_1$ entre 15 e 36 milissegundos tal que o valor do HIC seja máximo. O intervalo tende a ser menor para impactos de corpos com maior rigidez, como é o caso dos impactos de capacetes.

Neste trabalho, o **HIC** e a **função de Probabilidade de Fatalidade** são utilizados no procedimento de cálculo de nota de segurança de capacete, na subseção seguinte.

3.5.2. Proposta de Procedimento de Cálculo: Procedimento G&S

Para esta proposta de cálculo de nota de segurança de capacetes, chamada neste trabalho de **Procedimento G&S**, foi utilizado como modelo os procedimentos experimentais e de cálculo de nota Sharp [11, 23]. A proposta tem como diferencial utilizar o HIC como o parâmetro básico no cálculo das notas dos capacetes, ao invés de utilizar a aceleração máxima, como faz a Sharp [11] e a NBR [2], pois o HIC considera não só os valores da aceleração da cabeça, mas também a sua duração, assim amenizando os efeitos de picos de baixa duração da aceleração. Isso se deve por uma parte do cálculo deste parâmetro envolver o cálculo da média da aceleração no intervalo entre t_1 e t_2 . Esse cálculo de média é evidente por esta expressão:

$$\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} (a * dt)$$

Espera-se que a alteração reflita na nota de tal forma que o **rigor** para se obter notas mais altas no **procedimento G&S** seja **menor** do que o **rigor** do procedimento de cálculo **Sharp** [11]. Também se espera que o **procedimento G&S** seja **mais rigoroso** do que o procedimento **brasileiro** [2]. De fato, o **procedimento G&S** propõe utilizar os mesmos procedimentos de ensaios de impacto que a **Sharp** [23], tendo assim ensaios de **velocidades maiores** do que os procedimentos de ensaio **brasileiro** [2]. Para efeitos de melhor comparação entre a nota Sharp e a nota desta proposta, utilizou-se o mesmo procedimento experimental Sharp [23].

Assim, propõem-se os seguintes passos para se obter a nota final de segurança do capacete:

1. Realizar 32 testes de impacto, 30 lineares e 2 oblíquos, para cada modelo de capacete
2. Cálculo do coeficiente de fricção da casca do capacete usando o resultado do teste de impacto oblíquo.
3. Cálculo do HIC equivalente oblíquo a partir do HIC dos ensaios lineares e do coeficiente de fricção.
4. Utilizar o HIC para calcular o risco de ocorrer acidentes fatais.
5. Ponderação do peso para cada configuração de impacto, calculada a partir das distribuições de probabilidade da localização do impacto, da superfície do impacto e da velocidade do impacto.
6. Calcular Riscos de Fatalidade ponderados de acordo com o respectivo peso da configuração de impacto.
7. Calcular Risco Total de Fatalidade do capacete.
8. Calcular a nota.

Tabela 3.1: Matriz de Ensaios Sharp [11]

Helmet size		M	XL	L
Nominal head form size		J	O	M
Linear impacts				
Nominal impact velocity (m/s)		6.0	7.5	8.5
Impact location	Impact anvil	(Test number)		
Front	Flat	1	6	11
Side Left	Flat	2	7	12
Side Right	Flat	3	8	13
Rear	Flat	4	9	14
Crown	Flat	5	10	15
Front	Kerb	16	21	26
Side Left	Kerb	17	22	27
Side Right	Kerb	18	23	28
Rear	Kerb	19	24	29
Crown	Kerb	20	25	30
Oblique impacts				
Nominal impact velocity (m/s)		8.5		
Side Left		31		
Side Right		32		

Adota-se para o coeficiente de atrito (μ), a razão entre as leituras da força de bigorna tangencial (FT) e normal (FN) dos testes de impacto oblíquo.

$$\mu = F_T / F_N$$

Esse coeficiente é calculado nos dois testes de impacto oblíquo no ponto em que a força tangencial é máxima.

Os resultados dos impactos contra a bigorna plana são usados para calcular o desempenho dos capacetes em impactos oblíquos. A velocidade equivalente é calculada da seguinte forma:

$$V_R = V_N / \sin \theta, \theta = 37,5^\circ$$

A partir do HIC [seção 3.5.1.] dos ensaios lineares, calcula-se o HIC oblíquo equivalente (HICeq) para cada teste por meio da fórmula:

$$HICeq = HICn * (\sqrt{1 + \mu^2})^{2,5}$$

*A demonstração é feita no apêndice 1

Os resultados dos 30 testes de absorção de impacto lineares e 15 impactos oblíquos equivalentes fornecem, portanto, 45 resultados de HIC.

Calcula-se o risco de fatalidade a partir do HIC como insumo seguindo a Função de Fatalidade apresentada no gráfico do item 3.5.1..

Para cada uma das 45 configurações de impacto, é calculado um fator de ponderação de impacto (a probabilidade de ocorrência de cada configuração de acidente). As seguintes distribuições de probabilidade são aplicadas:

Tabelas 3.2: Distribuições do perfil de impactos, retirado da Sharp[11]

Impact site	Front	Side R	Side L	Crown	Rear
Distribution (%)	23.6%	26.6%	26.6%	2.2%	21.0%

Impact surface	Flat	Kerb	Oblique
Distribution (%)	38.4%	1.6%	60.0%

Head impact velocity (m/s)	6.0	7.5	8.5	9.9	12.3	14.0
Distribution (%)	6.35%	6.35%	5.08%	3.81%	4.96%	4.96%

Impact Weighting = Probability % (Impact Site) x Probability % (Impact Surface) x Probability % (Head Impact Velocity)

Para cada uma das 45 configurações de impacto, um risco de lesão ponderada pode ser calculado pela fórmula:

Weighted injury risk = Impact weighting x Risk of fatality

Os 45 riscos de lesões ponderadas são somados para fornecer um risco total de lesão ponderada para o modelo de capacete avaliado.

As notas são apresentadas segundo a tabela abaixo:

Tabela 3.3: Notas do Procedimento G&S, autoria própria

Risco total de Fatalidade (%)	Nota de Segurança
≤ 2 *	5
≤ 3	4
≤ 4	3
≤ 5	2
> 5	1

**	0
----	---

obs*: para se obter a nota 5, adiciona-se o critério de todos os HIC dos testes em bigorna plana serem menores do que 1000.

obs**: a nota zero é atribuída aos capacetes que não cumprirem os critérios de ensaio de impacto NBR [2]. Esses critérios são: todas as acelerações para os ensaios cuja velocidade são 6 m/s ou 7 m/s devem ser menores do que 300g e os respectivos tempos de duração de acelerações iguais ou superiores a 150g devem ser menores do que 5 ms. Para a presente proposta, considerou-se os ensaios de velocidades de 6 m/s e 7,5 m/s em bigornas planas, pois são os ensaios disponíveis por se seguir o procedimento experimental da SHARP [23].

O Procedimento G&S foi implementado no software desenvolvido neste trabalho e é apresentado no Capítulo 4

4. Calculadora de Nota de Segurança de Capacete (Calculadora G&S)

4.1. Contexto

Com base na revisão feita no capítulo 2, identificou-se que o ensaio de impacto é um dos principais ensaios para avaliar o desempenho de capacetes. Nesses ensaios são coletados dados de evolução de acelerações e de forças ao longo do tempo (*raw data*, do inglês, dados crus). Os dados crus são pré processados em parâmetros, *pre data* que por sua vez são variáveis de entrada do processo de avaliação.

No processo de avaliação, podem ocorrer dois casos:

- primeiro caso: *pre data* é diretamente sujeito a **critérios de avaliação**, que fornecem o **veredito** de aprovação ou de não aprovação do capacete no ensaio de impacto. Esse é o caso da certificação brasileira [2] e da Snell [4].
- segundo caso: *pre data* são variáveis de entrada de mais um **processo de cálculos** que resultam em **parâmetros mais específicos**. Esses **últimos parâmetros** combinados com *pre data* são sujeito à **critérios de avaliação** e assim oferecem uma **nota** ao final. Esse é o caso do procedimento Sharp [11] e do **procedimento G&S** [seção 3.5.2.]

O fluxo dos dados e dos processos é ilustrado na Figura 4.1.

Como a realização manual desses processos até se obter o veredito da avaliação é custoso, quanto ao tempo de execução da tarefa, encontrou-se uma oportunidade de trazer benefícios para a área de segurança de capacetes ao se desenvolver um software para automatizar esses processos.

O presente trabalho propõe uma arquitetura para o software de calculadora de nota de segurança de capacete, nomeada **Calculadora G&S**, que será referido simplesmente como **calculadora** a partir deste ponto, implementando os procedimentos de cálculo Sharp [11] e o **procedimento G&S** [seção 3.5.2.]. O software então é utilizado para calcular ambas as notas dado o *raw data* de um capacete exemplo [24]. Por fim os resultados são utilizados para validar o **procedimento G&S** comparado ao procedimento Sharp[11].

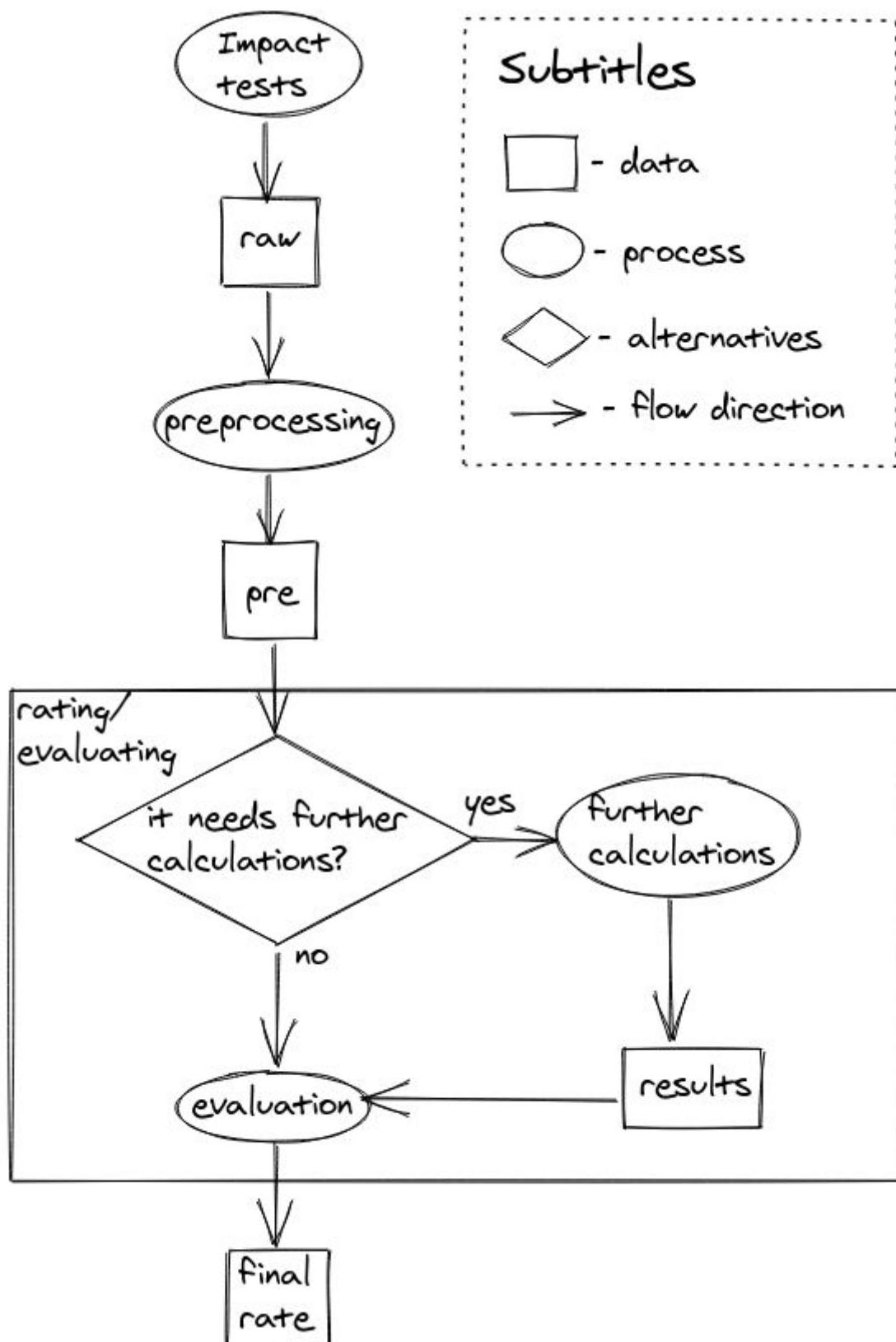


Figura 4.1: Fluxo de avaliação de capacete à partir de seus ensaios de impacto. Autoria própria

4.2. Objetivo

Objetivo deste software é automatizar os processos *preprocessing* e *rating*,

4.3. Requisitos

Para o desenvolvimento do sistema, os seguintes requisitos de projeto foram levantados:

- O sistema deve ser capaz de ler *raw data** obtidos dos ensaios de impacto;
- O sistema deve processar *raw data* para se obter *pre data**.
- O sistema deve ser capaz de ler *pre data* para se obter a nota e/ou o veredito do método de avaliação.

obs*: os detalhes sobre *raw data* e *pre data* e outros tipos de dados envolvidos são explicados na seção 4.5.

4.4. Arquitetura do Software

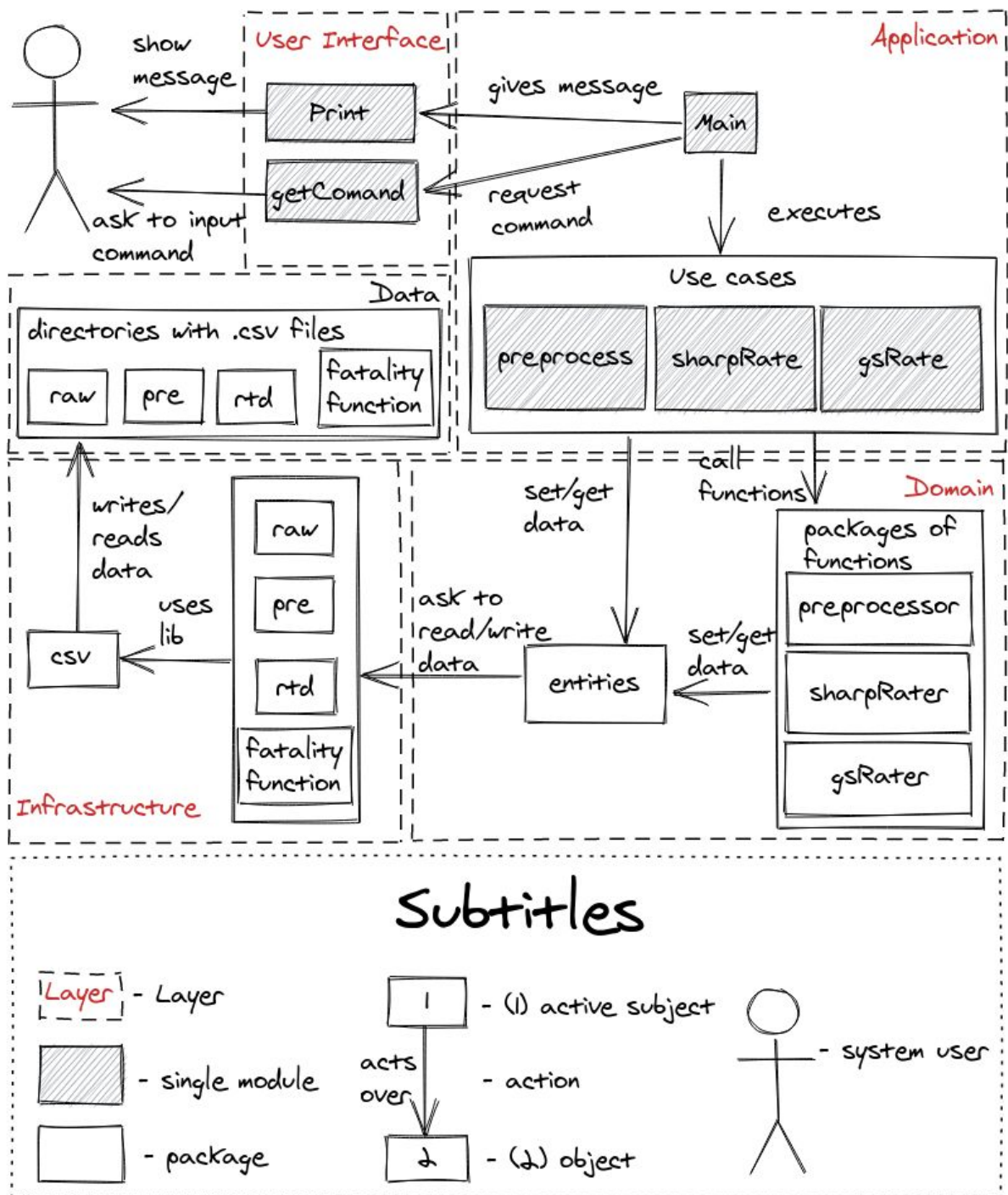


Figura 4.2:Arquitetura da Calculadora. Autoria Própria

O software projetado segue a arquitetura de abstrações da Figura 4.2..

Nessa arquitetura, o software é dividido em quatro camadas: *application* (aplicação), *user interface* (interface com usuário), *domain* (domínio) e *infrastructure* (infraestrutura).

Cada camada tem sua responsabilidade e faz interface com outras camadas específicas. As subseções seguintes detalham cada camada

4.4.1. *Application* (Camada de Aplicação)

Application é a camada responsável por controlar os fluxos dos processos, a fim de coordená-los para se obter os mesmos fluxos de avaliação de capacete, ilustrado na Figura 4.1, partindo de *raw data* até se obter o veredito final. Esta camada é composta pelo módulo *main* e o pacote *use cases*.

O módulo *main* coordena os métodos da *user interface*, que interagem com o usuário da **calculadora**, com as chamadas dos módulos do pacote de *use cases*.

Os módulos do pacote *use cases* implementam detalhadamente os procedimentos dos processos *preprocessing* e *rating*. No caso deste software os módulos foram nomeados com os verbos do inglês *preprocess* e *__Rate*. Os prefixos dos módulos *sharpRate* e *gsRate*, indicam que eles implementam respectivamente os fluxos de cálculo Sharp [11] e de cálculo do procedimento G&S [seção 3.5.2.]. Para que todos esses processos sejam possíveis, os módulos do pacote *use cases* consomem os métodos dos pacotes da camada *domain*.

4.4.2. *User Interface* (Camada de Interface com Usuário)

User interface é a camada que interage com o usuário da **calculadora**, apresentando mensagens e obtendo comandos dele.

Esta camada é composta por dois módulos: *print* e *getCommand*, que respectivamente são responsáveis por apresentar visualizáveis e obter comandos.

4.4.3. *Domain* (Camada de Domínio)

Domain é a camada responsável pelas regras de cada processo. É composto pelos pacotes *entities*, *preprocessor* e *__Rater*.

O pacote *entities* contém os módulos das entidades (classes), estruturas que carregam dados, sobre os quais os processos operam. Esses módulos consomem os métodos da camada *infrastructure* para se obter os dados necessários. As entidades modeladas para a **calculadora** são descritas detalhadamente na seção 4.5..

Os pacotes *preprocessor*, *sharpRater* e *gsRater* contém os módulos que realizam as operações dos processos, tais como filtragem de dados, cálculos e buscas. Assim, *preprocessor* possui os módulos dos métodos necessários para se obter os dados de *pre data* a partir de *raw data*; *sharpRater* possui os módulos dos métodos necessários para se obter a Nota da Sharp [11] a partir de *pre data*, assim como *gsRater*, para se obter a nota do procedimento G&S [seção 3.5.2] a partir de *pre data*.

4.4.4. Infrastructure (Camada de Infraestrutura)

Infrastructure é a camada responsável por conectar o contexto externo do software ao contexto interno do software. Neste caso, está fazendo a ponte entre a base de dados com o domínio da **calculadora**, realizando as operações de leitura e escrita de dados em arquivos. Esta camada é constituída pelos pacotes *csv*, *raw*, *pre*, e *fatality_function*.

O pacote *csv* possui módulos responsáveis pela leitura e escrita de arquivos de extensão “.csv” que estão na base de dados. Do inglês *comma-separated values*, os arquivos com essa extensão são arquivos de texto que costumam carregar dados separado por algum caractere específico, normalmente a vírgula; podem ser usados para armazenar tabelas, como é o caso do contexto deste trabalho, de modo que as linhas do arquivo representam as linhas da tabela e as colunas separadas pelas vírgulas, sendo que a primeira linha é preenchida pelos nomes das colunas.

Os pacotes *raw*, *pre* e *fatality_function* são pacotes que possuem os módulos responsáveis por ler e escrever respectivamente os dados *raw data*, *pre data* e *fatality_function data*. Para isso os módulos desses pacotes consomem os métodos do pacote *csv*.

4.5. Modelagem dos dados: *Data* e *Entities*

4.5.1. *Data* (Base de Dados)

4.5.1.1. Descrição dos tipos de dados

Esta camada, que é externa ao software, é onde se encontram concretamente os dados. No contexto atual a este trabalho e no contexto da **calculadora**, a base de dados é uma estrutura de diretórios contendo arquivos de extensão “.csv” [seção 4.4.4.]. A base de dados é populada por quatro tipos de dados: *raw data*, *pre data*, *rtd data* e *fatality_function data*.

raw data são os **dados** originados dos **ensaios de impacto**, ou seja, são os **dados de entrada** da calculadora. No caso dos procedimentos Sharp[11] e G&S [seção 3.5.2.] são eles:

- os registos de **aceleração vertical** (coluna *vert_g*) em g,
- os registos de **aceleração frontal** (coluna *front_g*) em g,
- os registos de **aceleração esquerda** (coluna *left_g*) em g,
- os registros de **força normal** na bigorna (*force*) em kN.

Esses dados são obtidos dos ensaios de impactos lineares, disponíveis nos arquivos nomeados de *01.csv*, *02.csv*, ... , *30.csv*.

Além desses dados, há os dados obtidos pelos ensaios de impactos oblíquos disponíveis nos arquivos *31.csv* e *32.csv*. São eles os registros de forças na bigorna:

- os registros de **força lateral** (coluna *lat_force*) em kN,
- os registros de **força longitudinal** (coluna *long_force*) em kN,

- os registros de **força normal** (coluna *norm_force*) em kN,

Esses ensaios devem ser realizados segundo a documentação do procedimento de ensaios de impacto Sharp [23]. A numeração do nome desses arquivos reflete a qual configuração de impacto o arquivo se relaciona. A Tabela 3.1 [seção 3.5.2] ilustra essa relação.

pre data são os dados obtidos pelo pré processamento de *raw data*, são **dados intermediários**. São dois arquivos desse tipo, *linear_tests.csv* e *oblique_tests.csv*. Os dois arquivos contêm dados diferentes:

- *linear_tests.csv* contém um registro para cada ensaio de impacto linear, totalizando 30 registros, que armazenam os dados de:
 - **identificação** do ensaio (coluna *id*),
 - tipo de **bigorna** (coluna *anvil*),
 - **velocidade** de impacto (coluna *velocity*) em m/s,
 - **região** de impacto no capacete (coluna *site*),
 - **máxima aceleração** resultante do capacete (coluna *abs_max_resultant_g*) em g,
 - **tempo** decorrido até atingir o valor **máximo** de aceleração resultante (coluna *time_to_abs_max_resultant_g*) em ms,
 - **tempo** em que a **aceleração** resultante é **superior a 150g** (coluna *time_over_150g*) em s,
 - **HIC** (coluna *hic*);
- *oblique_tests.csv* contém um registro para cada ensaio oblíquo, totalizando dois registros, que armazenam os dados de:
 - **identificação** do ensaio (coluna *id*),
 - **velocidade** de impacto (coluna *velocity*) em m/s,
 - **região** de impacto no capacete (coluna *site*),
 - **máxima força lateral** (coluna *abs_max_lat_force*),
 - **máxima força longitudinal** (coluna *abs_max_long_force*),
 - **máxima força normal** (*abs_max_norm_force*) em kN.

rtd data são dados **gerados** durante o **processo rating** e também ao final dele, são os **dados de saída** do sistema, contendo os **resultados finais**. Os arquivos que armazenam esses dados são: *sharp_tests.csv*, *sharp_result.csv*, *gs_tests.csv* e *gs_result.csv*. Eles são nomeados de tal forma que aqueles com **prefixo “sharp”** armazenam dados relacionados ao procedimento **Sharp** [11] e aqueles com **prefixo “gs”** dados relacionados ao procedimento **G&S** [seção 3.5.2]. Por fim, os dados contidos em cada um desses arquivos são descritos a seguir:

- *sharp_tests.csv* contém **45 registros**, sendo os **30** primeiros registros referentes aos **ensaios de impactos lineares** e os **15** registros posteriores referentes aos **ensaios oblíquos equivalentes** descritos na **Sharp** [11]. Cada registro armazena os seguintes dados:

- **identificação** do ensaio de impacto (coluna *test_number*),
- tipo de **bigorna** (coluna *anvil*),
- **velocidade** de impacto (coluna *impact_velocity*) em m/s,
- **região** de impacto (coluna *impact_site*),
- **aceleração** máxima (coluna *peak_acceleration*) em g,
- **risco** de fatalidade (coluna *fatality_risk*),
- **peso da configuração de impacto** (coluna *impact_weighting*),
- **risco** de fatalidade **ponderado** (coluna *weighted_fatality_risk*);
- **sharp_result.csv** contém apenas um registro contendo os **resultados finais** do procedimento **Sharp** [11]. O registro armazena os seguintes dados:
 - **nome** do capacete (coluna *Helmet_name*),
 - **risco total** de fatalidade (coluna *total_fatality_risk*),
 - **número de fatalidades** previsto (coluna *predicted_number_of_fatalities*),
 - **nota** de segurança (coluna *safety_rating*);
- **gs_tests.csv** contém **45 registros**, sendo os **30** primeiros registros referentes aos ensaios de **impactos lineares** e os **15** registros posteriores referentes aos ensaios **obliquos equivalentes** descritos no procedimento **G&S** [seção 3.5.2]. Cada registro armazena os seguintes dados:
 - **identificação** do ensaio de impacto (coluna *test_number*),
 - tipo de **bigorna** (coluna *anvil*),
 - **velocidade** de impacto (coluna *impact_velocity*) em m/s,
 - **região** de impacto (coluna *impact_site*), **HIC** (coluna *hic*) em g,
 - **risco** de fatalidade (coluna *fatality_risk*),
 - **peso da configuração de impacto** (coluna *impact_weighting*),
 - **risco** de fatalidade **ponderado** (coluna *weighted_fatality_risk*);
- **gs_result.csv** contém apenas um registro contendo os **resultados finais** do procedimento **G&S** [seção 3.5.2]. O registro armazena os seguintes dados:
 - **nome** do capacete (coluna *Helmet_name*),
 - **risco total** de fatalidade (coluna *total_fatality_risk*),
 - **número de fatalidades** previsto (coluna *predicted_number_of_fatalities*),
 - **nota** de segurança (coluna *safety_rating*);

fatality_function data são dados tabulados de funções de fatalidade utilizados nos dois procedimentos de cálculo de nota de segurança de capacetes implementados na **calculadora**. Os arquivos que armazenam esses dados são: *sharp.csv* e *gs.csv*. Em ambos os arquivos as **colunas** são “x” e “y”, que representam as **coordenadas das funções de fatalidade**, mas a diferença entre os arquivos está a qual função eles representam: o arquivo *sharp.csv* representa a fatalidade (y) em função da aceleração máxima (x) obtida pelo estudo COST [12]; o arquivo *gs.csv* representa a fatalidade (y) em função do HIC (x) apresentada na Figura 3.22. Vale ressaltar que o método de interpolação é linear e, nos casos de extrapolação, para “x” **maior** que o **maior** valor de “x” na tabela “y” deve valer 1 e para “x”

menor que o **menor** valor de “x” na tabela “y” deve valer 0; esses valores de extrapolação se justificam pelo caráter monotônico e limitado em 0 a 1 das funções de fatalidade.

4.5.1.2. Organização dos Diretórios

Para que o sistema consiga acessar os dados corretamente, os diretórios devem ser organizados corretamente.

O diretório raiz da base de dados é:

“[diretório raiz da calculadora]/data/”

Esse diretório deve conter um diretório “fatality_functions” que contém os arquivos de funções de fatalidade. Os demais diretórios diretos da base de dados são diretórios cujos nomes são os nomes dos capacetes. Dentro de cada diretório de capacete, devem existir três outros diretórios, “raw”, “pre” e “rtd”. Para que seja possível o cálculo correto da nota, o diretório “raw” referente ao capacete em questão deve conter todos os arquivos de raw data estritamente no formato descrito na seção anterior 4.5.1.1. A seguir um exemplo de estruturação dos diretórios para um capacete chamado “exemplo”:

~/rating_calculator/data/:

```
-exemplo/
    -raw/
        -01.csv
        ...
        -32.csv
    -pre/
    -rtd/
    -fatality_functions/
        -sharp.csv
        -gs.csv
```

4.5.2. Entities (Entidades)

Como explicado na seção 4.4.4., *entities* (ou entidades) são as estruturas que transportam os dados sobre as quais os processos do domínio podem operar. No contexto da calculadora as entidades modeladas são: *PreLinearTest*, *PreObliqueTest*, *SharpTest*, *SharpResult*, *SharpFatalityFunction*, *GSTest*, *GSResult* e *GSFatalityFunction*.

Como os arquivos “.csv” *linear_tests.csv*, *oblique_tests.csv*, *sharp_tests.csv*, *sharp_result*, *gs_tests.csv* e *gs_result.csv* são escritos respectivamente a partir de vetores das entidades *PreLinearTest*, *PreObliqueTest*, *SharpTest*, *SharpResult*, *GSTest* e *GSResult*, as propriedades dessas entidades (classes) são as mesmas das colunas dos respectivos arquivos “.csv” [sessão 4.5.1.1].

4.6. Tecnologias e Dependências

Para este projeto foram utilizadas apenas tecnologias e bibliotecas *open source* para possibilitar o acesso e reprodução sem custos.

As tecnologias utilizadas para desenvolver a **calculadora** são:

- Ubuntu v18.04 [26]: Sistema Operacional Linux;
- Java Script [27]: Linguagem de Programação, originalmente desenvolvido para ser executado em navegadores web;
- Node Js v13.14.0[28]: Ambiente de execução de códigos Java Script fora de navegadores web;
- Node Package Manager [29]: Gerenciador de pacotes de Java Script, padrão do Node JS, dentre outras funções, faz o controle das dependências que o projeto utiliza;
- Git [30]: tecnologia de controle de versão de diretórios e arquivos;
- GitHub [31]: plataforma de repositório remoto;
- Excalidraw [32]: aplicativo web de lousa branca, utilizado para desenhar os fluxogramas e a arquitetura do software.

Além dessas tecnologias, a **calculadora** possui dependências de bibliotecas externas:

- *fs* [33]: biblioteca de operação sobre arquivos, principalmente leitura e escrita;
- *csv-parse* [34]: biblioteca de conversão *strings* formatados em *csv* para estrutura de dados do Java Script, utilizada em conjunto com a biblioteca *fs* para ler os arquivos *csv* de dados;
- *csv-stringify* [34]: biblioteca de conversão dados do Java Script para uma *string* em formato *csv*, utilizada em conjunto com a biblioteca *fs* para escrever os arquivos *csv* de dados;
- *mathjs* [35]: biblioteca de ferramentas matemáticas, utilizada para escrever os módulos de cálculos;
- *performance-now* [36]: biblioteca de temporização, utilizada para medir o tempo de processamento da **calculadora**;
- *prompt* [37]: biblioteca de leitura de *inputs* do usuário no terminal de comandos, utilizada na obtenção de comandos do usuário;
- *jest* [38]: *framework* de testes de código Java Script, utilizado no processo de desenvolvimento da **calculadora** a fim de garantir o funcionamento de cada módulo, por meio do método *Test-Driven Development (TDD)* [40]

4.7. Instruções de Uso:

4.7.1. Configurando o Ambiente, Executando Testes de Validação e Executando a Calculadora

Primeiramente, para garantir que os comandos funcionem, assegure-se de que as tecnologias listadas na seção 4.6 estão disponível no seu ambiente.

Tendo instalado as tecnologias disponíveis em seu ambiente siga os procedimentos descritos abaixo.

Abra um terminal de comando e navegue para o diretório que deseja copiar o projeto.

Copie o repositório para seu ambiente:

```
$ git clone git@github.com:eduardo-gashu/helmet_rater.git
```

Navegue para o diretório da **calculadora**:

```
$ cd rating_calculator
```

Instale as dependências:

```
$ npm install
```

Para executar todos os testes do software:

```
$ npm run test
```

Para executar algum(ns) teste(s) específico(s):

```
$ npx jest system_tests/{nome do arquivo .test.js ou nome do diretório que contém arquivos .test.js}
```

Note: cada módulo do projeto possui um arquivo correspondente “*.test.js*” com a mesma estrutura de diretórios. Use-os como referência de especificação dos módulos.

Para inicializar a **calculadora**:

```
$ npm run app
```

4.7.2 Operando a calculadora

Primeiramente, garanta que o capacete a ser avaliado possui seu diretório corretamente estruturado [seção 4.5.1.] e que está com um terminal de comando aberto em qualquer diretório da **calculadora** e então inicialize-a [seção 4.7.1.]

Ao ser solicitado escreva no terminal de comando o nome do capacete (o mesmo nome do diretório dele) e tecle *enter*.

Logo em seguida será solicitado o método desejado, então digite corretamente o nome do método de avaliação desejado (há também a opção de executar todos os métodos inserindo “*all*”).

Caso todas as condições anteriores estejam corretas, o sistema realizará todas as operações, exibirá o tempo de execução, disponibilizará os resultados nos arquivos de dados e encerrará.

4.8. Execução de Exemplo e Resultados

Para validar o funcionamento do software desenvolvido, utilizou-se a técnica de desenvolvimento *TDD* [40], em que o desenvolvimento é orientado a testes unitários. Além disso, executou-se o software para se avaliar um capacete exemplo nomeado “*example*” [24] utilizando ambos os procedimentos de avaliação implementados. Vale ressaltar que os diretório de “*~/data/example/pre/*” e “*~/data/example/rtd/*” estavam **vazios antes** de se executar o software e **todas as pré condições** para o funcionamento da **calculadora** são **atendidas** [Capítulo 4]. Assim obteve-se os seguintes resultados:

- Todos os testes implementados com o auxílio da ferramenta *jest* [38] foram executados com êxito.

```
Test Suites: 32 passed, 32 total
Tests:      53 passed, 53 total
Snapshots:  0 total
Time:       14.929s, estimated 16s
Ran all test suites.
```

Figura 4.3: Testes do Sistema. Autoria própria

- O software realizou todos os procedimento com êxito apresentando as seguintes saídas:

```

→ src git:(master) npm run app

> calculators@1.0.0 app /home/hideo/Desktop/helmet_rater/rating_calculator
> node src/app/main.js

Hello! This is the Motorcycle Helmet's Safety Rating Calculator
Please enter the helmet that you want to rate
And choose the calculation method: sharp, gs or all
prompt: helmetName: example
prompt: ratingMethod: all
  Helmet Name: example
  Rating Method: all
|*****|
|*** Initializing Preprocessing ***|
|*****|
Reading example's raw data
Processing Linear Raw Data
Calculating Resultant Accelerations (G) [g]
Calculating Maximun Resultant Accelerations (MaxG) [g]
Calculating Time to Reach MaxG (TT150) [ms]
Calculating Time where G > 150 (T0150) [ms]
Calculating HIC
Linear Calculations Successfully Done
Generating Preprocessed Linear Data File
Preprocessed Linear Data File Successfully Generated
Processing Oblique Raw Data
Calculating Maximun Lateral, Maximun Longitudinal and Maximun Normal Forces [kN]
Oblique Calculations Successfully Done
Generating Preprocessed Oblique Data File
Preprocessed Oblique Data File Successfully Generated
|*****|
|*** Preprocessing Successfully Finished ***|
|*****|

```

Figura 4.4: Avaliação de “example”, parte 1/3. Autoria própria

```

|*****|
|*** Initiating Sharp Rating Calculation ***|
|*****|
Creating Sharp Tests Table
Reading Preprocessed Linear Tests
Writing Peak Accelerations in Sharp Tests Table
Reading Preprocessed Oblique Tests
Calculating Friction Coeffitient (mu)
Calculating Equivalent Oblique Peak Accelerations
Writing Equivalent Oblique Peak Accelerations in Sharp Tests Table
Calculating Fatality Risks
Setting Impact Weightings
Calculating weighted Fatality Risks
Writing Sharp Tests on sharp_tests.csv file
Calculating Total Risk of Faťality
Predicting Number of Fatalities for a Population of 7078
Calculating Sharp's Safety Rating
Writing Results on rtd/sharp_results.csv File
|*****|
|*** Sharp Rating Calculation Successfully Finished ***|
|*****|

```

Figura 4.5: Avaliação de “example”, parte 2/3. Autoria própria

```

*****
*** Initiating G&S Rating Calculation ***
*****
Creating G&S Tests Table
Reading Preprocessed Linear Tests
Writing Peak Accelerations, HIC in G&S Tests Table
Reading Preprocessed Oblique Tests
Calculating Friction Coefficient ( $\mu$ )
Calculating Equivalent Oblique HIC
Writing Equivalent Oblique HICs in G&S Tests Table
Calculating Fatality Risks
Setting Impact Weightings
Calculating weighted Fatality Risks
Writing G&S Tests on sharp tests.csv file
Calculating Total Risk of Fatality
Predicting Number of Fatalities for a Population of 7078
Calculating G&S's Safety Rating
Writing Results on rtd/gs_results.csv File
*****
*** G&S Rating Calculation Successfully Finished ***
*****
Processing time 217.589712999999757 milliseconds.
The outputs can be found in rating_calculator/data/example

```

Figura 4.6: Avaliação de “example”, parte 3/3. Autoria própria

Tabela 4.1: Conteúdo de *linear_tests.csv*. Autoria própria

id	anvil	velocity	site	abs_max_resultant_g	time_to_abs_max_resultant_g	time_over_150g	hic
1	flat	6,00	front	136,66	12,56	0,00	375,65
2	flat	6,00	left	177,80	12,63	2,31	414,62
3	flat	6,00	right	185,00	12,50	2,38	420,80
4	flat	6,00	rear	163,49	12,63	1,88	499,92
5	flat	6,00	crown	201,76	12,56	3,69	532,05
6	flat	7,50	front	197,62	12,63	3,06	689,90
7	flat	7,50	left	293,34	12,50	2,94	662,46
8	flat	7,50	right	295,61	12,56	3,00	744,13
9	flat	7,50	rear	217,96	12,50	3,44	785,55
10	flat	7,50	crown	217,83	10,50	4,19	809,35
11	flat	8,50	front	265,45	12,56	3,38	1,062,21
12	flat	8,50	left	449,21	12,50	2,69	1,191,40
13	flat	8,50	right	479,22	12,50	2,75	1,194,13
14	flat	8,50	rear	215,00	12,56	3,63	769,17
15	flat	8,50	crown	226,78	12,50	4,56	867,47
16	kerb	6,00	front	124,66	12,50	0,00	382,08
17	kerb	6,00	left	191,48	12,63	1,94	375,17
18	kerb	6,00	right	200,76	12,63	2,13	412,11
19	kerb	6,00	rear	125,12	12,50	0,00	443,77
20	kerb	6,00	crown	159,45	12,56	0,75	436,21
21	kerb	7,50	front	161,76	12,50	2,25	634,29
22	kerb	7,50	left	352,46	12,50	2,44	780,37
23	kerb	7,50	right	370,22	12,50	2,50	790,80
24	kerb	7,50	rear	162,96	12,50	1,63	668,66
25	kerb	7,50	crown	156,97	12,56	2,00	681,56
26	kerb	8,50	front	406,77	12,56	2,44	1,116,80
27	kerb	8,50	left	623,01	12,50	2,06	1,433,12
28	kerb	8,50	right	615,31	12,50	2,00	1,324,51
29	kerb	8,50	rear	178,04	12,69	2,81	858,74
30	kerb	8,50	crown	189,57	12,56	3,31	856,66

Tabela 4.2: Conteúdo de *oblique_tests.csv*. Autoria própria

id	velocity	site	abs_max_lat_force	abs_max_long_force	abs_max_norm_force
31	8,50	left	361,33	2,170,41	2,475,59
32	8,50	right	341,80	2,194,82	2,631,84

Tabela 4.3: Conteúdo de *sharp_tests.csv*. Autoria própria

test_number	anvil	impact_velocity	impact_site	peak_acceleration	fatality_risk	impact_weighting	weighted_fatality_risk
1	flat	6,00	front	136,66	0,00E+00	5,75E-03	0,00E+00
2	flat	6,00	left	177,80	3,95E-02	6,49E-03	2,56E-04
3	flat	6,00	right	185,00	4,97E-02	6,49E-03	3,22E-04
4	flat	6,00	rear	163,49	1,92E-02	5,12E-03	9,81E-05
5	flat	6,00	crown	201,76	7,33E-02	5,36E-04	3,93E-05
6	flat	7,50	front	197,62	6,76E-02	5,75E-03	3,89E-04
7	flat	7,50	left	293,34	1,82E-01	6,49E-03	1,18E-03
8	flat	7,50	right	295,61	1,83E-01	6,49E-03	1,19E-03
9	flat	7,50	rear	217,96	9,47E-02	5,12E-03	4,85E-04
10	flat	7,50	crown	217,83	9,45E-02	5,36E-04	5,07E-05
11	flat	8,50	front	265,45	1,57E-01	4,60E-03	7,25E-04
12	flat	8,50	left	449,21	6,89E-01	5,19E-03	3,58E-03
13	flat	8,50	right	479,22	8,73E-01	5,19E-03	4,53E-03
14	flat	8,50	rear	215,00	9,08E-02	4,10E-03	3,72E-04
15	flat	8,50	crown	226,78	1,06E-01	4,29E-04	4,56E-05
16	kerb	6,00	front	124,66	0,00E+00	2,40E-04	0,00E+00
17	kerb	6,00	left	191,48	5,89E-02	2,70E-04	1,59E-05
18	kerb	6,00	right	200,76	7,20E-02	2,70E-04	1,95E-05
19	kerb	6,00	rear	125,12	0,00E+00	2,13E-04	0,00E+00
20	kerb	6,00	crown	159,45	1,34E-02	2,24E-05	3,00E-07
21	kerb	7,50	front	161,76	1,67E-02	2,40E-04	4,01E-06
22	kerb	7,50	left	352,46	2,20E-01	2,70E-04	5,96E-05
23	kerb	7,50	right	370,22	2,32E-01	2,70E-04	6,27E-05
24	kerb	7,50	rear	162,96	1,84E-02	2,13E-04	3,93E-06
25	kerb	7,50	crown	156,97	9,90E-03	2,24E-05	2,21E-07
26	kerb	8,50	front	406,77	4,29E-01	1,92E-04	8,24E-05
27	kerb	8,50	left	623,01	1,00E+00	2,16E-04	2,16E-04
28	kerb	8,50	right	615,31	1,00E+00	2,16E-04	2,16E-04
29	kerb	8,50	rear	178,04	3,98E-02	1,71E-04	6,80E-06
30	kerb	8,50	crown	189,57	5,62E-02	1,79E-05	1,00E-06
31	oblique	9,86	front	137,96	0,00E+00	5,39E-03	0,00E+00
32	oblique	9,86	left	179,48	4,19E-02	6,08E-03	2,55E-04
33	oblique	9,86	right	186,75	5,22E-02	6,08E-03	3,17E-04
34	oblique	9,86	rear	165,04	2,14E-02	4,80E-03	1,03E-04
35	oblique	9,86	crown	203,67	7,58E-02	5,03E-04	3,81E-05
36	oblique	12,32	front	199,49	7,03E-02	7,02E-03	4,94E-04
37	oblique	12,32	left	296,12	1,84E-01	7,92E-03	1,45E-03
38	oblique	12,32	right	298,41	1,85E-01	7,92E-03	1,47E-03
39	oblique	12,32	rear	220,02	9,74E-02	6,25E-03	6,09E-04
40	oblique	12,32	crown	219,89	9,73E-02	6,55E-04	6,37E-05
41	oblique	13,96	front	267,96	1,61E-01	7,02E-03	1,13E-03
42	oblique	13,96	left	453,46	7,15E-01	7,92E-03	5,66E-03
43	oblique	13,96	right	483,76	9,01E-01	7,92E-03	7,13E-03
44	oblique	13,96	rear	217,04	9,35E-02	6,25E-03	5,84E-04
45	oblique	13,96	crown	228,92	1,09E-01	6,55E-04	7,15E-05

Tabela 4.4: Conteúdo de *sharp_result.csv*. Autoria própria

helmet_name	total_fatality_risk	predicted_number_of_fatalities	safety_rating
example	3,33%	235,84	3

Tabela 4.5: Conteúdo de *gs_tests.csv*. Autoria própria

test_number	anvil	impact_velocity	impact_site	hic	fatality_risk	impact_weighting	weighted_fatality_risk
1	flat	6,00	front	375,65	2,51E-02	5,75E-03	1,45E-04
2	flat	6,00	left	414,62	3,29E-02	6,49E-03	2,14E-04
3	flat	6,00	right	420,80	3,42E-02	6,49E-03	2,22E-04
4	flat	6,00	rear	499,92	5,00E-02	5,12E-03	2,56E-04
5	flat	6,00	crown	532,05	5,64E-02	5,36E-04	3,03E-05
6	flat	7,50	front	689,90	8,80E-02	5,75E-03	5,06E-04
7	flat	7,50	left	662,46	8,25E-02	6,49E-03	5,35E-04
8	flat	7,50	right	744,13	9,88E-02	6,49E-03	6,41E-04
9	flat	7,50	rear	785,55	1,14E-01	5,12E-03	5,85E-04
10	flat	7,50	crown	809,35	1,24E-01	5,36E-04	6,64E-05
11	flat	8,50	front	1.062,21	2,50E-01	4,60E-03	1,15E-03
12	flat	8,50	left	1.191,40	3,53E-01	5,19E-03	1,83E-03
13	flat	8,50	right	1.194,13	3,55E-01	5,19E-03	1,84E-03
14	flat	8,50	rear	769,17	1,08E-01	4,10E-03	4,41E-04
15	flat	8,50	crown	867,47	1,47E-01	4,29E-04	6,31E-05
16	kerb	6,00	front	382,08	2,64E-02	2,40E-04	6,33E-06
17	kerb	6,00	left	375,17	2,50E-02	2,70E-04	6,77E-06
18	kerb	6,00	right	412,11	3,24E-02	2,70E-04	8,76E-06
19	kerb	6,00	rear	443,77	3,88E-02	2,13E-04	8,27E-06
20	kerb	6,00	crown	436,21	3,72E-02	2,24E-05	8,32E-07
21	kerb	7,50	front	634,29	7,69E-02	2,40E-04	1,84E-05
22	kerb	7,50	left	780,37	1,12E-01	2,70E-04	3,03E-05
23	kerb	7,50	right	790,80	1,16E-01	2,70E-04	3,14E-05
24	kerb	7,50	rear	668,66	8,37E-02	2,13E-04	1,79E-05
25	kerb	7,50	crown	681,56	8,63E-02	2,24E-05	1,93E-06
26	kerb	8,50	front	1.116,80	2,93E-01	1,92E-04	5,63E-05
27	kerb	8,50	left	1.433,12	5,46E-01	2,16E-04	1,18E-04
28	kerb	8,50	right	1.324,51	4,60E-01	2,16E-04	9,94E-05
29	kerb	8,50	rear	858,74	1,43E-01	1,71E-04	2,45E-05
30	kerb	8,50	crown	856,66	1,43E-01	1,79E-05	2,55E-06
31	oblique	9,86	front	384,60	2,69E-02	5,39E-03	1,45E-04
32	oblique	9,86	left	424,51	3,49E-02	6,08E-03	2,12E-04
33	oblique	9,86	right	430,83	3,62E-02	6,08E-03	2,20E-04
34	oblique	9,86	rear	511,84	5,24E-02	4,80E-03	2,51E-04
35	oblique	9,86	crown	544,73	5,89E-02	5,03E-04	2,96E-05
36	oblique	12,32	front	706,34	9,13E-02	7,02E-03	6,41E-04
37	oblique	12,32	left	678,25	8,56E-02	7,92E-03	6,78E-04
38	oblique	12,32	right	761,87	1,05E-01	7,92E-03	8,29E-04
39	oblique	12,32	rear	804,27	1,22E-01	6,25E-03	7,61E-04
40	oblique	12,32	crown	828,64	1,31E-01	6,55E-04	8,61E-05
41	oblique	13,96	front	1.087,53	2,70E-01	7,02E-03	1,90E-03
42	oblique	13,96	left	1.219,80	3,76E-01	7,92E-03	2,98E-03
43	oblique	13,96	right	1.222,59	3,78E-01	7,92E-03	2,99E-03
44	oblique	13,96	rear	787,50	1,15E-01	6,25E-03	7,19E-04
45	oblique	13,96	crown	888,15	1,55E-01	6,55E-04	1,02E-04

Tabela 4.6: Conteúdo de *gs_result.csv*. Autoria própria

helmet_name	total_fatality_risk	predicted_number	safety_rating
example	2,15%	152,17	4

5. Discussão e Conclusões

5.1. Discussões dos Resultados

5.1.1 Teste e segurança dos capacetes

Foi feita uma busca para os motivos que motociclistas morrem no trânsito e concluiu-se que a maior parte morre nas rodovias, seguido por avenidas e depois ruas e isso se dá pela velocidade dos impactos que quanto maior geram um impacto com mais energia e também foi possível entender que para colisões direta dos passageiros em alta velocidade não há muito o que se fazer para proteger o motociclista, mesmo sendo uma das principais causas de morte, porém ainda conseguiu-se melhorar a questões das quedas em alta velocidade fazendo comparações entre quedas com velocidades de 6 m/s na vertical e de 0; 25; 27,5 e 30,5 m/s na vertical é possível concluir que o teste de 6 m/s não reproduz as condições de impacto com velocidade horizontal igual a de ruas, avenidas e rodovias assim foi feita a sugestão de utilizar velocidades maiores que, de fato, tiveram indícios de representar bem melhor.

O modelo não representa fielmente o fenômeno, com alto grau de precisão, devido nossas limitações, porém ainda consegue fornecer bom indícios sobre o tema. Com essa sugestão cumpriu-se o requisito de melhorar a segurança do teste de uma forma a se adequar a realidade brasileira.

5.1.2. Calculadora

Primeiramente pode-se verificar que todos os requisitos do software [seção 4.3] foram atendidos:

- O sistema é capaz de ler *raw data* obtidos dos ensaios de impacto, pois se os arquivos estão corretamente formatados e alocados no diretório correto, os dados são reconhecidos.
- O sistema é capaz de processar *raw data* para se obter *pre data*, pois após executar o *use case preprocess* são gerados os arquivos de resultados intermediários *linear_tests.csv* e *oblique_tests.csv*, resultados apresentados respectivamente na Tabela 4.1 e na Tabela 4.2, que armazenam *pre data* dos procedimentos Sharp [11] e G&S [seção 3.5.2.]
- O sistema é capaz de ler *pre data* para se obter a nota e/ou o veredito do método de avaliação, pois, após executar os *use case's sharpRate* e/ou *gsRate*, são gerados respectivamente os arquivos finais *sharp_result.csv* e *gs_result.csv*, evidente com o resultado da Tabela 4.4 e da Tabela 4.6.

Em seguida, pode-se verificar que o tempo de processamento total foi de aproximadamente 218 milissegundos mesmo executando os dois procedimentos de cálculo de

nota implementados [Figura 4.6]. Com essa marca pode-se considerá-lo um software bastante rápido e eficiente.

Pôde-se verificar ainda que a proposta do **procedimento G&S** [seção 3.5.2.] de ser um procedimento de avaliação menos rigoroso do que a Sharp [3], evidenciado pelo resultado de “*example*” obter **nota maior** no **procedimento G&S** do que no procedimento Sharp, com elas respectivamente iguais a 4 e a 3, ainda que *raw data* e *pre data* sejam os mesmos e a escala de notas seja análoga. Contudo, não foi possível verificar a segunda proposta do **procedimento G&S**, do procedimento ser mais rigoroso do que o brasileiro [2], pois não houve capacetes de exemplo suficientes para ocorrer casos que a validem. Para que essa segunda proposta fosse validada, deveria haver um capacete que é aprovado pelos critérios da norma brasileira mas reprovado (nota zero) pelo **procedimento G&S**.

5.2. Conclusões

Obteve-se com o modelo em elementos finitos bons resultados sobre a queda do motorista em alta velocidade e consegue-se cumprir os requisitos do projeto e como próximos objetivos a se alcançar com o modelo seria adaptá-lo para realizar impactos em diferentes superfícies para testar a eficiência dos capacetes nessa situação visto que morte por choque com objetos de diferentes geometrias é a segunda maior causa de mortes dos motociclistas.

Pelos resultados obtidos da **Calculadora G&S**, discutidos na seção anterior [5.1.2], conclui-se que a arquitetura proposta do software atende aos requisitos [4.3] e também ao objetivo proposto de automatizar os processos de *preprocessing* e *rating*, reduzindo assim o trabalho no fluxo total da avaliação de segurança de capacetes [Figura 4.1] para apenas realizar os ensaios de impacto, organizar os dados *raw data* no banco de dados da **Calculadora G&S** e, por fim, executar o software.

Como melhorias futuras para o software pensa-se no desenvolvimento:

- de uma interface gráfica mais amigável para a interação do usuário;
- da possibilidade de emissão de relatórios e gráficos para melhor visualização dos resultados;
- da implementação de mais métodos de avaliação de capacetes.

Sobre a proposta do **Procedimento G&S** [Seção 3.5.2.], concluiu-se que, para sua validação total, mais capacetes devem ser avaliados, podendo ser utilizado a própria **Calculadora G&S**.

Referências

[1] Governo do Estado de São Paulo. Estatística / Relatórios INFOSIGA SP. Acessado em junho de 2019. Disponível em:

<<http://www.infosiga.sp.gov.br/Home/Relatorio>>

[2] Norma ABNT NBR 7471:2015, ABNT/CB-05 - Comitê Brasileiro Automotivo, CE-05:109.04 - Comissão de Estudo de Capacetes para Motociclistas.

[3] Sharp Testing - United Kingdom Department for Transport. Acessado em maio de 2020. Disponível em: <<https://sharp.dft.gov.uk/sharp-testing/>>

[4] Snell Foundation standard for motorcycle helmets. 2020 STANDARD FOR PROTECTIVE HEADGEAR For Use with Motorcycles and Other Motorized Vehicles. Acessado em junho de 2019. Disponível em:

<https://www.smf.org/standards/m/2020/M2020_Final.pdf>

[5] UNIFORM PROVISIONS CONCERNING THE APPROVAL OF PROTECTIVE HELMETS AND THEIR VISORS FOR DRIVERS AND PASSENGERS OF MOTORCYCLES AND MOPEDS. Acessado em junho de 2019. Disponível em:

<<http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/r022r4e.pdf>>

[6] MADELEN F.; PETER H.; SVEIN K. The protective effect of a helmet in three bicycle accidents - A finite element study. Neuronic Engineering, School of Technology and Health, KTH Royal Institute of Technology, Sweden. 2016.

[7] NORITOSHI A.; YUKO N.; MASAMI I. Development and validation of a head/brain FE model and investigation of influential factor on the brain response during head impact. Human Science Research-Domain, Toyota Central R&D Labs., Inc. 41-1, Yokomichi, Nagakute, Aichi, 480-1192, Japan. 2016.

[8] DEBASIS S.; CAROLINE D.; NARAYAN Y.; RÉMY W. Development of skull fracture criterion based on real-world head trauma simulations using finite element head model. Université de Strasbourg ICube, UNISTRA-CNRS, 2 rue Boussingault, 67000 Strasbourg, France and Department of Neurosurgery, Medical College of Wisconsin, 9200 West Wisconsin Avenue, Milwaukee, WI 53226, USA, 2015

[9] Ievgen Levadnyi, Jan Awrejcewicz, Yan Zhang, Márcio Fagundes Goethel, Yaodong Gu. Finite Element Analysis of Impact for Helmeted and Non-helmeted Head. Department of Automation, Biomechanics and Mechatronics, Lodz University of Technology, Lodz, Poland, Institute of Vehicles, Warsaw University of Technology, Warsaw, Poland, Faculty of Sports

Science, Ningbo University, Ningbo, China, Research Academy of Grand Health Interdisciplinary, Ningbo University, Ningbo, China. 25 September 2017.

[10] FÉDÉRATION INTERNATIONALE DE L'AUTOMOBILE. FIA STANDARD 8860-2018 AND 8860-2018-ABP. Acessado em junho de 2019. Disponível em: <https://www.fia.com/sites/default/files/8860-2018_advanced_helmet_0.pdf>.

[11] PROCEDURE FOR CALCULATING THE SHARP SAFETY RATING. Acessado em junho de 2019. Disponível em: <<https://sharp.dft.gov.uk/wp-content/themes/sharp2017/pdfs/SHARP-rating-calculation-procedure.pdf>>.

[12] Chinn B, Canaple B, Derler S, Doyle D, Otte D, Schuller E and Willinger R (2001). COST 237 Motorcycle safety helmets: Final Report of the action. EC COST-transport Report.

[13] Seguradora Líder. Relatório Anual 2018 da seguradora líder-DPVAT. Acessado em junho de 2019. Disponível em: <https://www.seguradoralider.com.br/Documents/Relatorio-Anual/RELATORIO%20ANUAL_2018_WEB.pdf>

[14] N.J Mills. Critical evaluation of the SHARP motorcycle helmet rating. Metallurgy and Materials, University of Birmingham, UK. , final version received 28 July 2009.

[15] E. Rolf , S. Emily, B. Faris, H. Mark, K. Nopporn, M. Matt - from National Highway Traffic Safety Administration NTBRC; K. Shashi, N. Thuvan, T. Erik, T. Rabih, Z Anna - from Conrad Technologies, Inc.; S. Roger - from National Highway Traffic Safety Administration VRTC. Development of Improved Injury Criteria for the Assessment of Advanced Automotive Restraint Systems - II. November 1999.

[16] <https://bkibret.com/computational-models>

[17] <http://www.cetsp.com.br/consultas/classificacao-viaria.aspx>

[18] <http://www.der.sp.gov.br/WebSite/Arquivos/MalhaRodoviaria/codificacao.pdf>

[19] <https://helmets.org/limits.htm> 11/06/2020

[20] <http://www.cpaqv.org/cinesiologia/antropometricas.pdf> , 11/06/2020

[21] <http://www.motosblog.com.br/8506/motos-para-pessoas-baixas/> , 11/06/2020

- [22] CAROLLO, F.; MARIOTTI, G. V.; SCALICI, E. Biomechanics Parameters in the Vehicle-Cyclist Crash with Accident Analysis in Palermo. 2014. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/268806262_Biomechanics_Parameters_in_the_Vehicle-Cyclist_Crash_with_Accident_Analysis_in_Palermo>
- [23] DEPARTMENT FOR TRANSPORT. The Safety Helmet Assessment and Rating Programme: Laboratory Test Procedures. Disponível em: <<https://sharp.dft.gov.uk/wp-content/themes/sharp2017/pdfs/SHARP-laboratory-test-procedures.pdf>>
- [24] ALVES, M.. Comunicação pessoal, 2020.
- [25] SOUSA, R. J. A. de; COELHO, R., GONÇALVES, D.; TEIXEIRA-DIAS, F.. University of Aveiro. Assessing the effectiveness of the use of a natural cellular material as safety padding in motorcycle helmet. August 2011
- [26] UBUNTU. Acessado em junho de 2020. Disponível em: <<https://ubuntu.com/>>
- [27] JAVA SCRIPT. Acessado em junho de 2020. Disponível em: <<https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/JavaScript>>
- [28] NODEJS. Acessado em junho de 2020. Disponível em: <<https://nodejs.org/>>
- [29] NODE PACKAGE MANAGER. Acessado em junho de 2020. Disponível em: <<https://www.npmjs.com/>>
- [30] GIT. Acessado em junho de 2020. Disponível em: <<https://git-scm.com/>>
- [31] GITHUB. Acessado em junho de 2020. Disponível em: <<https://github.com/>>
- [32] EXCALIDRAW. Acessado em junho de 2020. Disponível em: <<https://excalidraw.com/>>
- [33] FS. Acessado em junho de 2020. Disponível em: <<https://nodejs.org/api/fs.html>>
- [34] MATHJS. Acessado em junho de 2020. Disponível em: <<https://mathjs.org/>>
- [35] CSV. Acessado em junho de 2020. Disponível em: <<https://csv.js.org/>>
- [36] PERFORMANCE-NOW. Acessado em junho de 2020. Disponível em: <<https://www.npmjs.com/package/performance-now>>

[37] PROMPT. Acessado em junho de 2020. Disponível em:

<<https://www.npmjs.com/package/prompt>>

[38] JEST. Acessado em junho de 2020 Disponível em: <<https://jestjs.io/>>

[39] DEVMEDIA. Test Driven Development: TDD Simples e Prático. Acessado em junho de 2020. Disponível em:

<<https://www.devmedia.com.br/test-driven-development-tdd-simples-e-pratico/18533>>

APÊNDICE 1: Dedução da Fórmula de HIC Oblíquo Equivalente (HICeq)

Dadas as equações:

$$HIC(a_n(t)) = \{[\frac{1}{t_2-t_1} \int_{t_1}^{t_2} (a_n(t) * dt)]^{2,5} * (t_2 - t_1)\} \quad (1)$$

$$a_{eq}(t) = a_n(t) * \sqrt{1 + \mu^2}, \mu = cte, \text{ obtido da Sharp [11]} \quad (2)$$

$$(2) \Rightarrow a_{eq}(t) = a_n(t) * K$$

$$(1) \Rightarrow HIC(K * a_n(t)) = \{[\frac{1}{t_2-t_1} \int_{t_1}^{t_2} (K * a_n(t) * dt)]^{2,5} * (t_2 - t_1)\} \quad max$$

$$\Rightarrow HIC(K * a_n(t)) = K^{2,5} * \{[\frac{1}{t_2-t_1} \int_{t_1}^{t_2} (a_n(t) * dt)]^{2,5} * (t_2 - t_1)\} \quad max$$

$$\Rightarrow HIC(a_{eq}(t)) = K^{2,5} * \{[\frac{1}{t_2-t_1} \int_{t_1}^{t_2} (a_n(t) * dt)]^{2,5} * (t_2 - t_1)\} \quad max$$

$$\Rightarrow HIC(a_{eq}(t)) = K^{2,5} * HIC(a_n(t))$$

$$\Rightarrow HIC_{eq} = K^{2,5} * HIC_n$$

$$\therefore HIC_{eq} = \sqrt{1 + \mu^2}^{2,5} * HIC_n$$