

ANÁLISE DETALHADA DA EVOLUÇÃO DA SINISTRALIDADE RODOVIÁRIA COM VEÍCULOS DE DUAS RODAS MOTORIZADOS NO PERÍODO 2007-2011

Daniel Bernardo¹, João P. Dias, Ana Ferreira¹

¹ IDMEC, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa, Portugal

email: daniel.bernardo@ist.utl.pt, jdias@dem.ist.utl.pt, anafilipa.gbrf@gmail.com

Sumário

A aplicação da regressão ordinal a todos os acidentes de Veículos de Duas Rodas Motorizados (VDRM) com vítimas no período 2007-2010, utilizando o programa SPSS, revelou uma associação estatisticamente significativa entre o aumento da gravidade das lesões e o tipo de VDRM (motociclo), género do condutor (masculino), não utilização de capacete, condições de luminosidade (noite), dia da semana (Sábado e Domingo), período do ano (Julho-Setembro) e manobra do condutor do VDRM (mudança de direcção à esquerda, mudança de via, circulação em sentido oposto ou atravessando a via).

A análise de uma amostra de 53 acidentes reais com VDRM investigados e reconstituídos computacionalmente recorrendo ao programa PC-Crash indiciam a condução em excesso de velocidade por parte do VDRM como o principal factor responsável por acidentes graves. Destacam-se também um potencial grupo de risco entre os condutores de motociclos desportivos e de elevada cilindrada e as colisões laterais em termos de frequência e mesmo de gravidade dos acidentes com VDRM.

A colisão lateral foi analisada através de simulações computacionais variando o ângulo (0° e 45°) e velocidade (50 km/h e 120 km/h) de impacto do motociclo na lateral de veículos ligeiros, verificando-se a transferência da maior parcela da energia de deformação para o motociclo e a elevada probabilidade do seu condutor sofrer lesões graves. Os resultados obtidos também sugerem que o capacete oferece uma potencial redução das lesões na cabeça em impactos a 50 km/h, mas que a 120 km/h, a sua eficácia em termos de lesões fatais é nula.

Palavras-chave: Veículos de Duas Rodas Motorizados; Regressão ordinal; Biomecânica do impacto; Simulação computacional; Reconstituição de acidentes.

1 INTRODUÇÃO

A redução verificada, em Portugal, nos últimos anos em termos de sinistralidade rodoviária não se verifica de forma tão significativa para os utilizadores de Veículos de Duas Rodas Motorizados (VDRM), os quais continuam a apresentar números de sinistralidade rodoviária preocupantes e destacando-se os motociclos na gravidade dos acidentes. Recorrendo à base de dados CARE [1] para uma avaliação da evolução de Portugal comparativamente a outros países Europeus, apresenta-se na Figura 1, a variação do número de vítimas mortais em acidentes com VDRM por milhão de habitantes entre 2000 e 2011, nos países pertencentes à União Europeia desde 1995 (excluindo o Luxemburgo devido aos valores reduzidos de população e vítimas mortais), sendo que alguns países disponibilizaram dados de sinistralidade apenas até aos anos de 2009 ou 2010. Esta perspectiva da sinistralidade com VDRM permite concluir que, apesar da significativa redução no número de vítimas mortais, em 2010 e mesmo em 2011, Portugal apresenta um rácio muito elevado de vítimas mortais por milhão de habitante, tendo sido de 2011 o 2º mais elevado da Europa dos 15.

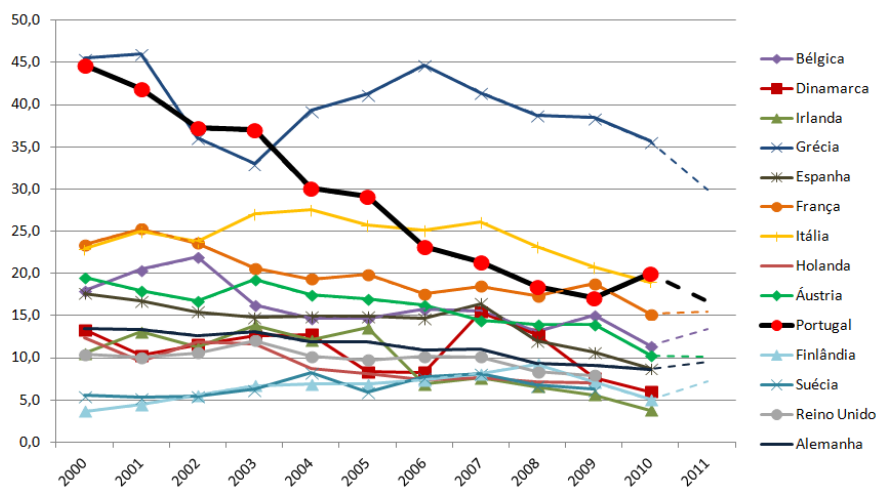


Fig.1. Vítimas mortais em acidentes com VDRM na UE a 15 (sem Luxemburgo) por milhão de habitantes de 2000 até 2011.

No ano de 2011 ocorreram 32541 acidentes rodoviários com vítimas em Portugal Continental, das quais 891 são vítimas mortais e cerca de 21,0% destas mortes correspondem a condutores e passageiros de VDRM [2]. Os motociclos destacam-se ainda em 2011 como o tipo de veículo motorizado que apresenta o maior índice de gravidade (rácio de vítimas mortais por cada 100 vítimas de acidente).

Conclui-se portanto que a gravidade dos acidentes com VDRM em Portugal é um problema sério que exige o desenvolvimento e implementação de medidas de segurança rodoviária específicas para os seus utilizadores. Através da análise estatística da sinistralidade rodoviária é possível determinar padrões e identificar os factores determinantes na ocorrência e gravidade de acidentes, no caso concreto, com VDRM. A investigação aprofundada destes acidentes recorrendo a métodos científicos e nomeadamente, a aplicação de modelos computacionais, permite aumentar o conhecimento neste campo específico, de maneira a avaliar tendências, isolar os problemas e áreas de actuação prioritária, sendo esta a base para o desenvolvimento de medidas eficazes para aumentar a segurança dos seus ocupantes.

2 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS ACIDENTES COM VDRM

Procedeu-se a uma análise retrospectiva da base de dados de acidentes com vítimas entre os condutores e passageiros de VDRM ocorridos em Portugal Continental, cedida pela Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária (ANSR), com foco no período 2007-2010. Nesta primeira fase pretendeu-se caracterizar o problema da gravidade dos acidentes com VDRM em Portugal. Após a análise estatística exploratória dos acidentes com VDRM foi aplicado o modelo de Regressão Logística Ordinal, recorrendo-se à base de dados da ANSR e utilizando-se para tal o *software* de análise estatística de dados SPSS, versão 19, no sentido de identificar os factores que influenciam a gravidade das lesões sofridas pelos condutores de VDRM em caso de acidente e estimar o seu efeito. Trata-se da primeira abordagem na aplicação de métodos estatísticos de regressão na análise de acidentes e é relevante evidenciar que não são conhecidos trabalhos anteriores realizados em Portugal em que se tenha recorrido a este tipo de análise aplicada aos acidentes com VDRM e respectivo risco de acidente ou gravidade de lesões. A explicação detalhada dos procedimentos adoptados está disponível para consulta no respectivo relatório [3].

A análise estatística dos acidentes com VDRM em Portugal encontra-se no momento a ser actualizada com os dados do ano de 2011.

2.1 Acidentes com VDRM em Portugal entre 2007 e 2010

Os principais resultados a retirar desta análise estão associados com o factor veículo e a natureza do acidente. Os motociclos com cilindrada superior a 50 cm³ e potência não limitada a 25 kW ou relação potência/peso inferior a 0,16 kW/kg constituem a categoria de VDRM com o maior índice de gravidade, tal como se verifica na Figura 2.

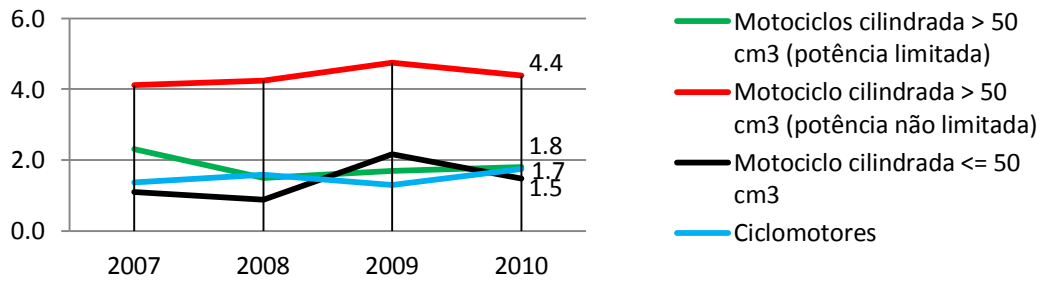


Fig.2. Índice de Gravidade por categoria de VDRM, entre 2007 e 2010.

Aos condutores de motocicletas com idade entre 25 e 34 anos e com 1 a 5 anos de habilitação de condução está associado o maior número de vítimas mortais em acidentes com motocicletas ocorridos em 2010. Relativamente aos acidentes com ciclomotores, a nota predominante no número de vítimas mortais são os valores elevados para os condutores com idade superior a 55 anos e com 20 ou mais anos de habilitação de condução. A maioria dos acidentes com VDRM em 2010 ocorreu em pleno dia, porém, o maior número de mortes verificou-se no período nocturno. O mesmo padrão em termos de mortalidade é extensível aos fins-de-semana. Neste ano a grande maioria dos acidentes com vítimas entre utilizadores de VDRM ocorreu dentro das localidades. Apesar deste facto e de 57,7% das vítimas mortais no caso dos motociclos e 61,5% no caso dos ciclomotores ocorrer também dentro das localidades, os acidentes com VDRM fora das localidades apresentam um maior índice de gravidade. A tipologia de acidente envolvendo motocicletas com o maior número de acidentes com vítimas em 2010 e à qual está também associado o maior número de vítimas mortais e feridos graves corresponde à Colisão Lateral com Outro Veículo em Movimento (CLOVM), constituindo o Despiste Simples (DS) e tal como se pode verificar na Figura 3, o tipo de acidente que se destaca na segunda posição. Nos acidentes com ciclomotores a situação é semelhante, com a excepção de que as Colisões Frontais apresentam o maior número de vítimas mortais, seguidas dos Despistes Simples.

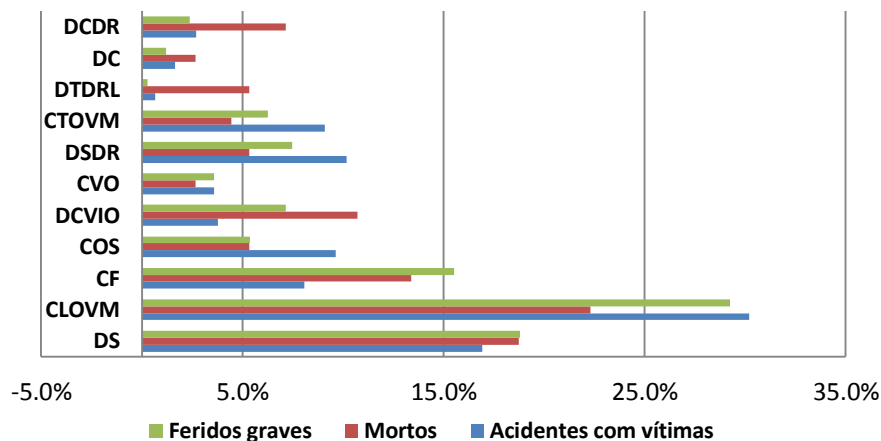


Fig.3. Vítimas por natureza do acidente com VDRM em 2010.

Em suma, constatou-se que a CLOVM é a principal causa de acidentes com vítimas entre condutores e passageiros de VDRM em Portugal no ano de 2010.

2.2 Factores de risco de lesões graves em acidentes com VDRM

Na base de dados da ANSR consta a informação detalhada dos acidentes com VDRM ocorridos em Portugal Continental em que resultaram lesões ou ocorreu a morte do condutor e/ou do passageiro do VDRM, encontrando-se os acidentes discriminados por vítima do mesmo e sendo registada a gravidade das lesões. Para estimar os factores que influenciam a gravidade das lesões sofridas pelos condutores de VDRM num acidente foi possível construir uma variável nominal ordinal que contém os diferentes níveis de gravidade de lesões, de modo semelhante ao que foi feito em [4]. Portanto, a variável dependente *lesões* contém três níveis crescentes de gravidade de lesão resultante no condutor do VDRM: ferido leve, ferido grave e morto. A regressão ordinal foi

então aplicada utilizando um conjunto de potenciais determinantes como variáveis explicativas da gravidade das lesões para estimar as diferenças de influência dos diferentes factores no nível de gravidade do acidente. O fundamento teórico relativo aos modelos de regressão e em particular, a modelos de regressão ordinal encontra-se descrito de forma detalhada em [5] e [6], tendo-se ainda que as principais decisões envolvidas no desenvolvimento do modelo de regressão ordinal e o processo de optimização estão descritas em [3].

A associação entre os factores em análise e a variável dependente é medida pela Odds Ratio (OR) ou razão das chances, que descreve a força da associação entre variáveis e foi considerado um intervalo de confiança de 95%. A significância estatística ($p < 0,05$) dos resultados foi dada pelo valor-p crítico associado.

Os resultados obtidos indicam uma associação entre a gravidade das lesões dos condutores de VDRM e o tipo de VDRM em caso de acidente, uma vez que os condutores de motociclos são mais favoráveis à ocorrência de lesões mais graves. Aliás, de acordo com o modelo de regressão ordinal a probabilidade de se observarem lesões de maior gravidade quando o VDRM conduzido é um motociclo aumenta 66,2% (OR=0,662; $p=0,000$) relativamente ao caso de ser um ciclomotor. Os resultados mostram ainda que factores como género, uso de capacete, manobras realizadas pelos condutores de VDRM antes do acidente, dia da semana, período do ano e condições de iluminação influenciam a gravidade das lesões. Um condutor do género feminino tem mais do dobro da probabilidade (OR=2.130, $p=0,000$) de sofrer lesões de menor gravidade que um condutor do género masculino. Os restantes factores influenciam a gravidade das lesões no sentido do aumento da probabilidade de ocorrência de lesões graves, nomeadamente, quando o condutor do VDRM não utiliza capacete (OR=0.174, $p=0,000$), quando o acidente ocorre à noite (OR=0.624, $p=0,000$), ao fim de semana (OR=0.668, $p=0,000$) ou período de Julho a Setembro (OR=0.857 $p=0,009$) e quando o VDRM se encontra a mudar de direcção à esquerda (OR = 0.773, $p=0,012$), a mudar de via (OR=0.668, $p=0,000$), a circular em sentido oposto (OR=0.319, $p=0,000$) ou a atravessar a via (OR=0.388, $p=0,000$).

3 INVESTIGAÇÃO APROFUNDADA DE ACIDENTES COM VDRM

A análise estatística dos acidentes permite avaliar a evolução da sinistralidade rodoviária e a identificação de problemas, revelando-se uma ferramenta essencial de monitorização do desempenho das medidas aplicadas. Contudo, corresponde a uma primeira fase de investigação que revela a necessidade de uma investigação aprofundada que permita analisar aspectos ausentes na mera análise estatística.

A metodologia utilizada na investigação aprofundada destes acidentes tem como base a metodologia MAIDS [7] e os objectivos deste tipo de investigação, mas na sua aplicação assemelha-se ao trabalho realizado em [8]. A metodologia adoptada para a investigação e reconstituição computacional dos acidentes é tratada como um processo de optimização, com as velocidades e posições pré-impacto a constituírem os parâmetros variáveis. O procedimento aplicado passa pela análise dos registos pós-acidente cedidos pelas autoridades, como o croqui do acidente, as fotografias da via e dos veículos, bem como os relatórios de autópsia, seguindo-se a construção do cenário do acidente com base nestes dados e a realização de simulações computacionais. Torna-se possível estimar com precisão as condições pré-impacto, como sejam a velocidade, posição e trajetória dos veículos.

Para a reconstituição computacional dos acidentes foi utilizado o programa PC-Crash, versão 8.0, tendo sido realizadas reconstituições de 53 acidentes reais com VDRM ocorridos entre 1998 e 2008 e inseridos no âmbito de processos judiciais. Porém, o número relativamente reduzido de casos que constituem a amostra quando comparado com alguns dos principais trabalhos focados na determinação dos mecanismos dos acidentes e lesões ([7] e [8]) limita os métodos estatísticos aplicáveis e logo, a abrangência das conclusões obtidas. Os principais resultados obtidos destacam um potencial grupo de risco entre os condutores de motociclos desportivos e de elevada cilindrada e as colisões laterais em termos de frequência e mesmo de gravidade dos acidentes com VDRM.

3.1 Acidentes reais com VDRM reconstituídos computacionalmente

As simulações computacionais de dois acidentes reais estudados são descritas resumidamente.

3.1.1 Acidente I

O acidente em questão consistiu no atropelamento de um peão por um motociclo desportivo da marca Yamaha, modelo YZF-R6, seguido de um segundo atropelamento de dois peões que se encontravam no passeio, num local

situado a cerca de 91,30 m da zona do primeiro atropelamento. Devido à inexistência de informação relevante para a realização das simulações computacionais da primeira colisão, não foi possível realizar uma simulação contínua do acidente, tendo sido considerada para este efeito apenas a segunda fase do mesmo, tal como ilustrado na Figura 4 (o condutor do motociclo é identificado com a letra A, e os peões com as letras B e C).

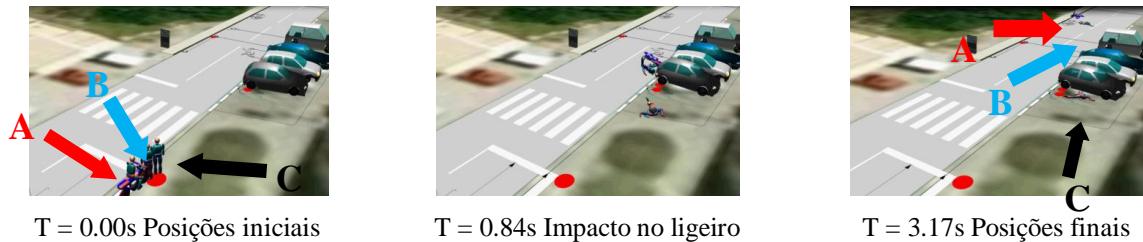


Fig.4. Fotogramas da simulação computacional do impacto entre o motociclo e os peões.

Determinou-se a partir da simulação computacional que o motociclo circularia a 113 ± 5 km/h no instante do impacto com os peões, tendo a velocidade do motociclo uma contribuição fulcral para o agravamento das lesões que resultaram deste acidente (dois feridos graves e uma vítima mortal).

3.1.2 Acidente II

O acidente consistiu na colisão entre a zona frontal lateral direita do veículo ligeiro de passageiros Volvo V70 e a zona traseira do motociclo Vespa 50. Deste acidente resultaram um ferido leve (condutor do motociclo) e uma vítima mortal (passageiro do motociclo). Note-se que todos os participantes neste acidente se encontravam sob o efeito de álcool, apresentando o condutor do ligeiro uma Taxa de Álcool no Sangue (TAS) de 1,44 g/l, sendo a TAS do condutor e passageiro do motociclo, respectivamente, de 0,43 g/l e 1,15 g/l. Na Figura 5 encontram-se os fotogramas alusivos ao cenário simulado com melhor correlação entre as posições de imobilização e compatibilidade de deformações e lesões.

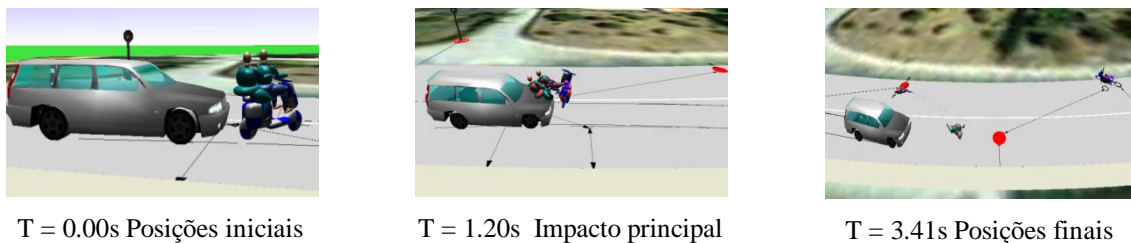


Fig.5. Fotogramas da simulação computacional da colisão traseira.

A partir da simulação computacional determinou-se que no instante do impacto inicial, o motociclo circularia a 10 ± 2 km/h, com um ângulo de 36.5° , em relação ao eixo da via, indiciando que se encontraria a realizar uma mudança de direcção à esquerda ou inversão de marcha enquanto que o ligeiro de passageiros circularia a 56 ± 5 km/h, praticamente alinhado com o eixo da via. Conclui-se que a ocorrência do acidente se deveu à circulação sob o efeito do álcool por parte do condutor do ligeiro de passageiros e à acção do condutor do motociclo, na realização abrupta de uma manobra de mudança de direcção à esquerda ou de inversão de marcha.

4 BIOMECÂNICA DO IMPACTO E CRITÉRIOS DE LESÃO

A biomecânica do impacto estuda o efeito da aplicação de cargas mecânicas, nomeadamente, forças de impacto, ao corpo humano e as formas de reduzir ou mesmo eliminar os danos estruturais e funcionais sobre as estruturas biológicas que podem decorrer de uma situação de impacto [9].

De modo a avaliar o comportamento biomecânico do condutor do VDRM num impacto e analisar a gravidade das lesões com base nos níveis de aceleração obtidos nas simulações de colisão, pode ser utilizado o programa PC-Crash. O *software* assenta na teoria da dinâmica de corpos múltiplos, a qual é explicada de forma detalhada em [10] e no manual técnico do próprio programa [11]. Em termos práticos, a avaliação do nível de lesão é realizado utilizando critérios de lesão aplicados aos dados de aceleração obtidos a partir dos modelos de corpos

múltiplos que representam o corpo humano na simulação de impacto. Os critérios de lesão são parâmetros ou conjunto de parâmetros físicos que se correlacionam com a gravidade das lesões infligidas na região do corpo em análise e que indicam pela sua magnitude o potencial de indução de lesões pelo impacto, sendo fundamentais no desenvolvimento e avaliação da eficácia de dispositivos de segurança rodoviária. O critério de lesão na cabeça mais utilizado é o HIC (*Head Injury Criterion*).

4.1 HIC (Head Injury Criterion)

O HIC é um critério de lesão em que o parâmetro fundamental é a aceleração linear da cabeça, que é avaliada, por exemplo, a partir de modelos biomecânicos, num determinado intervalo de tempo. O cálculo do HIC é feito a partir da equação seguinte:

$$HIC = \left\{ (t_2 - t_1) \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a(t) dt \right]^{2.5} \right\}_{\max} \quad (1)$$

Tem-se que $a(t)$ é a resultante da aceleração em unidade de aceleração gravítica (g) calculada no centro de massa da cabeça e o intervalo (t_2-t_1) é o intervalo de tempo em que o HIC é máximo. Considera-se para efeitos de cálculo do HIC intervalos (t_2-t_1) de 15 ms para acidentes que envolvam o contacto directo da cabeça e de 36 ms para acidentes que não envolvam contacto directo, sendo o limite máximo do HIC para cada um destes casos de 700 (HIC_{15}) e 1000 (HIC_{36}), respectivamente, valores a partir dos quais são esperadas lesões graves e permanentes e isto para modelos adultos do sexo masculino do Percentil 50 [9] [12].

4.2 AIS (Abbreviated Injury Scale)

O índice AIS é baseado numa escala anatómica com seis níveis que define o tipo de lesão e a sua gravidade referente às diferentes zonas do corpo e quanto maior o valor da escala, maior a gravidade das lesões, culminando na morte. Existe uma correlação entre os valores de HIC e os níveis de AIS que permite traduzir os índices determinados a partir de simulações computacionais no tipo e gravidade de lesões na cabeça resultantes da colisão analisada [9] [12] e que se apresenta no gráfico da Figura 6.

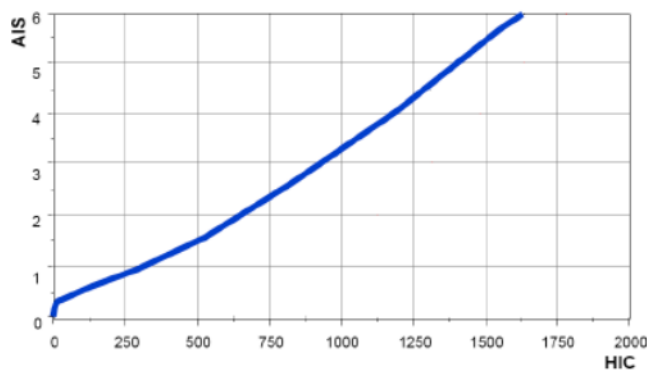


Fig.6. Correlação entre HIC e AIS.

5 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE IMPACTOS LATERAIS EM VDRM

Dada a importância verificada relativamente às colisões laterais nos acidentes com VDRM em termos da gravidade das lesões dos condutores foram realizadas simulações computacionais de impactos laterais utilizando o programa PC-Crash, versão 9.0. Para analisar a colisão entre o motociclo e a lateral do Outro Veículo (OV) verificou-se de forma indirecta, a partir dos trabalhos [13] e [14], a existência e a descrição parcial da norma ISO13232, que define procedimentos de teste e análise para avaliação de dispositivos de protecção do condutor de motociclo em caso de acidente. Para proceder à análise no presente trabalho foi seleccionada a configuração de impacto 413 - 0/13,4 que consiste no impacto frontal do motociclo circulando a 13,4 m/s (≈ 50 km/h) na zona média da lateral do ligeiro parado. Com base nesta configuração pré-definida foram simuladas outras condições de colisão lateral entre o motociclo, respectivo condutor e a zona lateral de três veículos ligeiros seleccionados

por ordem crescente de massa e altura, através da variação do ângulo (0° e 45°) e velocidade de impacto (50 km/h e 120 km/h) do motociclo relativamente ao veículo ligeiro seleccionado.

Numa primeira fase da análise do impacto recorreu-se a um modelo de motociclo sem condutor, para realizar uma análise cinemática do impacto entre os veículos e estimativa da energia de deformação dos veículos. De seguida, procedeu-se à análise da biomecânica do impacto, utilizando modelos de corpos múltiplos e cuja integração na simulação computacional da colisão permitiu obter a aceleração da cabeça do condutor e desta forma determinar o critério de lesão correspondente (HIC). Considerou-se para o modelo do condutor uma massa e altura, respectivamente, de 78,4 kg e 1,755 m, dimensões antropométricas que correspondem a um ser humano adulto do sexo masculino, Percentil 50 [9] e nas simulações computacionais realizadas foi utilizado um coeficiente de restituição de 0,1, um coeficiente de atrito para o solo de 0,8 e um coeficiente de atrito entre o motociclo e o pavimento de 0,6, sendo que no caso do modelo do condutor se considerou um coeficiente de atrito entre o corpo humano e o solo de 0,8 [15]. Os modelos computacionais dos veículos e modelos de corpos múltiplos considerados e referidos anteriormente são apresentados nas Figuras 7 e 8.



Fig.7. Modelo do motociclo sem condutor e modelos multicorpo do motociclo e condutor.



Fig.8. Modelos dos veículos ligeiros considerados, seleccionados por ordem crescente de massa e altura.

Como o programa PC-Crash não permite a introdução de modelo de capacete nas simulações, a avaliação da influência da sua utilização pelo condutor do motociclo na gravidade das lesões foi realizada aplicando dois factores empíricos de redução de lesão baseados em resultados estatísticos [16], como se apresenta de seguida.

$$HIC_{\text{Capacete}} = 0.31 \times HIC_{\text{Sem Capacete}}, \quad \text{se AIS} < 6 \quad (2)$$

$$HIC_{\text{Capacete}} = 0.58 \times HIC_{\text{Sem Capacete}}, \quad \text{se AIS} = 6 \quad (3)$$

Portanto, as equações 2 e 3 foram aplicadas na estimativa da potencial redução do nível de lesão na cabeça do condutor caso este utilizasse capacete.

5.1 Resultados em termos de energia de deformação e gravidade de lesões

Uma breve exposição dos resultados obtidos para o ensaio de impacto directo (0°) entre o motociclo e o veículo ligeiro nº 1, circulando o motociclo a 50 km/h é apresentada de seguida. A caracterização completa dos impactos laterais simulados, bem como a exposição detalhada dos resultados obtidos encontra-se em [17]. Na Figura 9 apresentam-se os fotogramas relativos à simulação de impacto referida anteriormente, para a qual foi estimada a energia de deformação envolvida na colisão entre os veículos.

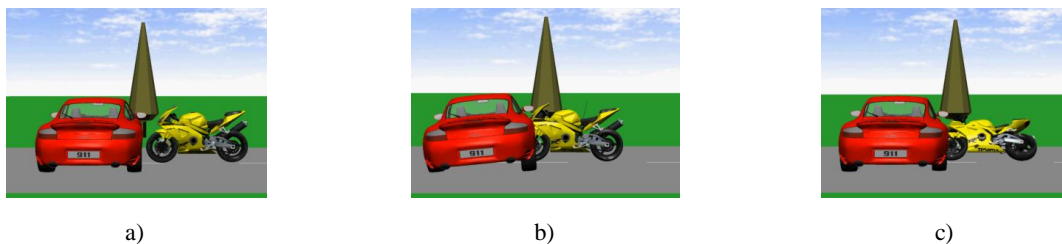


Fig.9. Fotogramas a), b) e c) da simulação de impacto utilizando o modelo do motociclo sem condutor.

Uma vez que as velocidades pré-impacto (V_i) dos veículos e respectivas massas são condições iniciais conhecidas e que as velocidades imediatamente após o impacto (V_f) são determinadas, aplicando o princípio de conservação de energia (equações 4 e 5) a cada um dos veículos, é possível estimar a energia de deformação (E_{Def}) transferida para o veículo A e B no impacto por deformação da sua estrutura.

$$\Delta E_{Cinética} + \Delta E_{Potencial} + (\text{Transformação outras formas de energia}) = 0 \quad (4)$$

$$\frac{1}{2} m_A v_{A_i}^2 + \frac{1}{2} m_B v_{B_i}^2 = \frac{1}{2} m_A v_{A_f}^2 + \frac{1}{2} m_B v_{B_f}^2 + E_{Def} \quad (5)$$

Para o exemplo em causa, as condições iniciais e os resultados obtidos são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Massa, velocidade pré e pós-impacto e energia de deformação de cada veículo.

Veículo	Massa (kg)	V_i (km/h)	V_f (km/h)	E_{Def} (kJ)
Motociclo	201	50,0	8,5	18,8
Ligeiro nº1	1552	0	6,0	2,2

Verifica-se que a energia transferida para o veículo ligeiro corresponde a 11,6% da energia transferida para o motociclo.

Na Figura 10 apresentam-se os fotogramas relativos à simulação de impacto com o veículo ligeiro nº1, mantendo as mesmas condições do ensaio anterior mas utilizando os modelos de corpos múltiplos do motociclo e do condutor para avaliar a gravidade das lesões resultantes com base nos níveis de aceleração da cabeça.

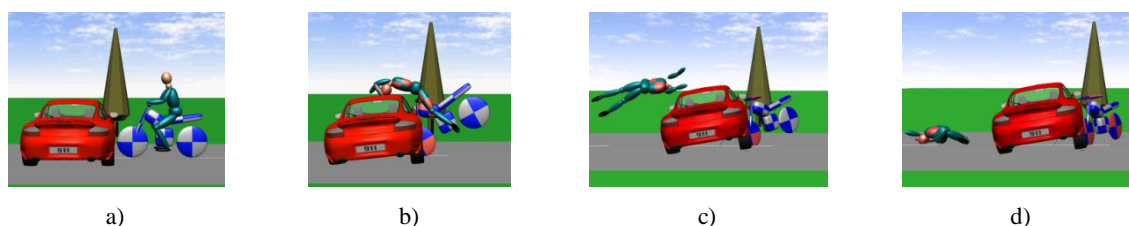


Fig.10. Fotogramas a), b), c) e d) da simulação de impacto utilizando modelos multicorpo do motociclo e corpo humano.

O pico de aceleração mais elevado ocorre no instante $t=0,170$ s e equivale a $808,3 \text{ m/s}^2$ (82,4 g), correspondendo ao instante em que a cabeça do condutor do motociclo colide com o tejadilho do ligeiro. Para este impacto o valor de HIC resultante é de 566, inferior ao limite de 700 para o intervalo de tempo máximo de 15 ms e correspondente a um AIS de 2, equivalente à ocorrência de lesões moderadas na cabeça. Caso o condutor do motociclo utilizasse capacete, a potencial redução do nível de lesões estimada resulta num valor de HIC de 176 e um AIS de 1, indicativo da ocorrência de lesões na cabeça de gravidade mínima.

Para o conjunto de colisões estudado verifica-se que numa colisão lateral com um veículo ligeiro a maior parte da energia de deformação é transferida para o motociclo e que existe uma elevada probabilidade de lesões de maior gravidade para o condutor. Verificou-se ainda a associação directa entre a velocidade do impacto e a gravidade das lesões para o condutor do motociclo. Os resultados também sugerem a potencial redução da gravidade das lesões na cabeça em impactos à velocidade mínima analisada (50 km/h) através da utilização de capacete, mas que à velocidade máxima considerada (120 km/h) a protecção oferecida pelo capacete é nula em termos de prevenir lesões fatais.

Na Tabela 2 encontram-se organizados os resultados obtidos em termos da energia de deformação do ligeiro (ED_L) e motociclo (ED_M) para cada ensaio realizado com o respectivo veículo ligeiro, divididos de acordo com a velocidade de impacto do motociclo (V_{Mi}) e o ângulo de impacto (θ).

As tabelas 2 a 5 referem-se aos resultados obtidos em termos da biomecânica do impacto.

Tabela 2. Energia de deformação estimada para as simulações envolvendo cada veículo ligeiro.

V_{Mi} (km/h)	θ (°)	Ligeiro nº 1		Ligeiro nº 2		Ligeiro nº 3	
		ED _L (kJ)	ED _M (kJ)	ED _L (kJ)	ED _M (kJ)	ED _L (kJ)	ED _M (kJ)
50	0	2,2	18,8	2,1	18,8	1,7	18,8
	45	1,2	16,9	1,2	16,9	0,9	17,0
120	0	12,2	107,7	12,0	107,7	9,7	107,7
	45	5,3	90,3	5,0	90,3	4,0	91,1

Tabela 3. HIC e AIS para o impacto lateral entre o motociclo e o ligeiro nº1.

Colisão Motociclo – Ligeiro nº 1						
V_{Mi} (km/h)	θ (°)	HIC ₁₅ /HIC ₃₆	AIS	HIC _{Capacete}	AIS _{Capacete}	Limit HIC ₁₅ /HIC ₃₆
50	0	566 / -	2	176	1	700 / 1000
	45	139 / -	1	43	1	
120	0	32644 / -	6	18934	6	
	45	- / 2628	6	1524	6	

Tabela 4. HIC e AIS para o impacto lateral entre o motociclo e o ligeiro nº2.

Colisão Motociclo – Ligeiro nº 2						
V_{Mi} (km/h)	θ (°)	HIC ₁₅ /HIC ₃₆	AIS	HIC _{Capacete}	AIS _{Capacete}	Limit HIC ₁₅ /HIC ₃₆
50	0	748 / -	2	232	1	700 / 1000
	45	- / 574	2	178	1	
120	0	15427 / -	6	8948	6	
	45	- / 2844	6	1650	6	

Tabela 5. HIC e AIS para o impacto lateral entre o motociclo e o ligeiro nº3.

Colisão Motociclo – Ligeiro nº 3						
V_{Mi} (km/h)	θ (°)	HIC ₁₅ /HIC ₃₆	AIS	HIC _{Capacete}	AIS _{Capacete}	Limit HIC ₁₅ /HIC ₃₆
50	0	505 / -	2	157	1	700 / 1000
	45	1026 / -	3	318	1	
120	0	15139 / -	6	8781	6	
	45	4556 / -	6	2643	6	

6 CONCLUSÕES

O comportamento humano constitui a principal causa de acidentes com VDRM em que resulta a morte ou lesões graves do seu condutor, destacando-se a condução a velocidades elevadas. Os condutores de motociclos desportivos e de elevada cilindrada são identificados como um potencial grupo de risco de lesões graves em caso de acidente entre os condutores de VDRM, devido à conjugação entre as características mecânicas destes veículos em termos de velocidades atingidas com comportamentos inadequados por parte dos seus condutores. A

colisão lateral e especificamente a colisão entre o VDRM e a lateral do OV em situações em que o OV realiza uma mudança de direcção para a esquerda é a principal configuração de acidente à qual está associada uma maior propensão para ocorrência de lesões graves ou a morte do condutor do VDRM e para qual contribuirá novamente o excesso de velocidade no caso dos motociclos mas também a sua reduzida conspicuidade, no caso dos ciclomotores. Em impactos a velocidades elevadas, o capacete é insuficiente para o proteger os condutores. No entanto conclui-se que a não utilização do capacete constitui um factor principal de ocorrência de lesões de maior gravidade num acidente com VDRM. Os acidentes com VDRM apresentam também uma correlação significativa no sentido da maior gravidade das lesões para o seu condutor com determinados períodos, nomeadamente, a noite, fins-de-semana e altura de Julho a Setembro e no sentido de menor gravidade se o condutor for do género feminino. Os resultados obtidos neste trabalho sugerem também uma potencial associação entre lesões de maior gravidade nos condutores de VDRM se o acidente ocorrer dentro das localidades, em Arruamentos e Estradas Nacionais e se o condutor tiver uma idade compreendida entre os 20 e os 29 anos de idade e 1 a 6 anos de carta de condução.

7 REFERÊNCIAS

1. CARE, *Statistics – accidents data*, European Commission Road Safety. Página consultada a 17 de Dezembro de 2012, <http://ec.europa.eu/transport/road_safety/specialist/statistics/index_en.htm>.
2. Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária, *Vítimas a 30 dias - Ano 2011*, Observatório de Segurança Rodoviária, 2012.
3. Dias, J., Bernardo, D., *Análise detalhada da evolução da sinistralidade rodoviária com veículos de duas rodas motorizados no período 2007 – 2010*, IDMEC, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2011.
4. Albalade, D., Fernández-Villadangos, L., *Traffic Injury Prevention*, 11(6) 623-631, 2010.
5. Hosmer, D. W., Lemeshow, S., *Applied Logistic Regression (2 ed.)*, Wiley, New York, 2000.
6. Norusis, M., *SPSS 13, Advanced statistical procedures companion*, Prentice Hall Inc, New Jersey, 2004.
7. ACEM, *MAIDS In-depth investigations of accidents involving powered two wheelers Final Report 2.0*, Brussels, 2009.
8. Clarke, D. D., Ward, P., Bartle, C., Truman, W., *Road Safety Research Report*, 54 1468 – 9138, 2004.
9. Silva, M., *Apontamentos da Disciplina de BIOMECÂNICA DO MOVIMENTO: Licenciatura em Engenharia Biomédica (1ª ed.)*, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2004.
10. Nikravesch, P. E., *Computer-Aided Analysis of Mechanical Systems*, Prentice-Hall, New Jersey, 1988.
11. Datentechnik, S., *PC-Crash A Simulation program for Vehicle Accidents - Technical Manual 6.2*, Austria, 2001.
12. Schmitt, K.-U., Niederer, P., Muser M., Walz, F., *Trauma Biomechanics- Accidental injury in traffic and sports (3rd ed.)*, Verlag Berlin Heidelberg: Springer, 2010.
13. Deguchi, M., *Simulation of motorcycle-car collision*, 19th International Technical Conference on the Enhanced Safety Vehicles (ESV), Paper No. 05-0041, 2005.
14. Mukherjee, S., Chawla, A., Mohan, D., Singh, M., Sakurai, M., Tamura, Y., *Motorcycle-Car Side Impact Simulation*, International Research Council on the Biomechanics of Injury (IRCOBI), 2001.
15. Backaitis, S. H., *Reconstruction of Motor Vehicle Accidents: A Technical Compendium*, Society of Automotive Engineers Inc, 1989.
16. Liu, B. C., Ivers, R., Norton, R., Boufous, S., Blows, S., Lo, S. K., *Helmets for preventing injury in motorcycle riders*, Cochrane Database of Systematic Reviews, Issue 1. Art. No.: CD004333, 2008.
17. Dias, J., Bernardo, D., *Análise de Colisões Laterais entre Motociclo e Veículos Ligeiros de Passageiros utilizando Modelos Computacionais para a Reconstituição do Impacto*, IDMEC, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2012.