



**isec**  
**Engenharia**

MESTRADO EM ENGENHARIA  
MECÂNICA

**Estudo em Processos de Reconstituição  
de Acidentes Rodoviários**

DEFINITIVO

Autor

**Rodrigo Simões Pereira**

Orientador

**Professor Doutor António Simões**

Coimbra, maio de 2022

INSTITUTO POLITÉCNICO  
DE COIMBRA

INSTITUTO SUPERIOR  
DE ENGENHARIA  
DE COIMBRA



# isec

## Engenharia

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

### **Estudo em Processos de Reconstituição de Acidentes Rodoviários**

Relatório de Trabalho de Projeto para a obtenção do grau de  
Mestre em Engenharia Mecânica

Especialização em Construção e Manutenção de Equipamentos  
Mecânicos

Autor

**Rodrigo Simões Pereira**

Orientador

**Professor Doutor António Simões**

Coimbra, maio de 2022

INSTITUTO POLITÉCNICO  
DE COIMBRA

INSTITUTO SUPERIOR  
DE ENGENHARIA  
DE COIMBRA

## **AGRADECIMENTOS**

O desenvolvimento do presente trabalho foi realizado com o apoio de diversas pessoas, a quem estou imensamente grato, e gostaria de aqui expressar o meu agradecimento.

Em primeiro lugar os meus pais, Pedro Pereira e Maria Anália Simões, sem o seu apoio seria impossível percorrer todo este caminho, incentivaram-me e disponibilizaram-se para ajudar em tudo o que pudessem.

À minha avó e tia-avó que apesar das suas idades avançadas com muito esforço da sua parte me apoiaram de forma a me proporcionarem mais tempo e fortaleceram a minha dedicação a resolução deste projeto.

Ao meu irmão, Ricardo Pereira, que para além do incentivo que me deu também me orientou em algumas decisões, que pela sua experiência e conhecimentos me facilitou a execução deste projeto.

Ao Marco Tomé, um grande amigo que mostrou desde sempre interesse em ajudar, e que partilhou comigo por meio de longas conversas o seu conhecimento e o seu parecer relativamente a estes temas.

Ao professor António Simões, meu orientador deste projeto académico, por toda a ajuda disponibilizada, pela sua prontidão para esclarecimentos, dúvidas ou qualquer outro problema que surgisse durante a resolução desta tese.

Ao Engenheiro Frederico Formiga pela disponibilidade demonstrada e pelo seu interesse e ajuda que me deu em tudo o que pode mesmo com algumas dificuldades que surgiram durante o processo.

Aos meus grandes amigos de curso, João Bernardes, Ruben Vasco, João Marques, Tiago Delgadinho, Miguel Pinto, Victor Antunes e João Sanches que sempre me deram um grande incentivo para continuar mesmo com a distância que a vida académica e profissional trouxe às nossas vidas.

Aos meus amigos Yvan Alves, Micael Cruz, Diogo Gomes, Mariana Costa, Victor Pereira, Diogo André, Beatriz Almeida, Ana Daniela e Filipa Silva que apesar de não serem pertencerem ao meu percurso académico, sempre deram apoio e palavras de incentivo.

A todos o meu muito obrigado, pelo contributo e pelo apoio que me deram.

## Resumo

Este trabalho tem dois objetivos. O primeiro visa sensibilizar o leitor para a temática da sinistralidade rodoviária através da apresentação cuidada de dados relativos aos acidentes rodoviários ocorridos em alguns continentes em especial o europeu. O segundo procura garantir uma abordagem na mesma temática focada no território português.

Para a compreensão do estado e evolução nacional das tragédias ocorridas nas estradas portuguesas relativamente ao número de mortos, ao número de feridos graves, ao número de feridos ligeiros e ao número de acidentes ocorridos, serão apresentados os valores ocorridos destes numa amostra temporal de 18 anos (2000-2018), assim como as principais características humanas e ambientais que influenciam a ocorrência dos mesmos.

No âmbito do segundo objetivo é efetuada uma análise das formas de obtenção de informações dos locais de ocorrência dos acidentes, e apresentadas as fórmulas matemáticas usadas para a obtenção de indicadores, como velocidades iniciais dos veículos, quantidade de energia envolvida na colisão, entre outros.

**Palavras-Chave:** Acidentes Rodoviários, Reconstruções Computacionais, Colisão, Modelo Multicorpo, Modelo Corpo Rígido.

## **Abstract**

This work has 2 objectives. The first aims to sensitize the reader to the theme of road accidents through the careful presentation of data on road accidents that occurred in some continents, especially Europe. The second seeks to guarantee an approach on the same theme focused on the Portuguese territory.

To understand the state and national evolution of tragedies that occurred on Portuguese roads in relation to the number of deaths, the number of serious injuries, the number of light injuries and the number of accidents that occurred, the values that occurred in a temporal sample of 18 years will be presented. (2000-2018), as well as the main human and environmental characteristics that influence their occurrence.

In the scope of the second objective, an analysis of the ways of obtaining information about the places of occurrence of accidents is carried out and the mathematical formulas used to obtain indicators, such as initial vehicle speeds, amount of energy involved in the collision, among others, are presented.

**Palavras-Chave:** Road Accidents, Computational Reconstructions, Collision, Multibody Model, Rigid Body Model.

## Índice Geral

<b>Resumo</b> .....	<b>ii</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>iii</b>
<b>Índice Geral</b> .....	<b>iv</b>
<b>Índice de Figuras</b> .....	<b>vii</b>
<b>Índice de Tabelas</b> .....	<b>ix</b>
<b>Índice de Ilustrações</b> .....	<b>x</b>
<b>Índice de Gráficos</b> .....	<b>xi</b>
<b>Simbologia e Abreviaturas</b> .....	<b>xiii</b>
<b>Definição de Conceitos Relacionados com Acidentes Rodoviários</b> .....	<b>xiv</b>
<b>1. Introdução</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Caracterização da Sinistralidade Rodoviária</b> .....	<b>2</b>
2.1. Contextualização da União Europeia quanto à sinistralidade rodoviária .....	2
2.2. Balanço dos Países da UE.....	2
2.3. Comparação da Europa com as restantes zonas do Globo.....	4
2.4. Crescimento do Número de Veículos.....	5
2.5. Evolução dos VM, FG e dos FL na União Europeia .....	6
2.6. Caracterização dos Acidentes.....	8
2.7. Padrões de Segurança.....	10
2.8. Planos e Metas a Nível Mundial .....	11
2.9. Sinistralidade em Portugal .....	11
2.10. Fatores humanos .....	16
2.10.1. Idade dos Intervenientes .....	16
2.10.2. Género dos Intervenientes .....	18
2.11. Tipo de Acidente Rodoviário .....	19
2.12. Crimes/Infrações.....	22
2.13. Fatores Mecânicos (do veículo) .....	25
2.13.1. Inovações Volvo nos últimos 10 anos (Volvocars, 2021) .....	26
2.13.2. Outras inovações na temática da segurança rodoviária.....	26
2.14. Sistemas de Segurança .....	27
2.15. Tipologia de Rodovia .....	28
2.16. Fatores Ambientais .....	30
2.16.1. Iluminação .....	30
2.16.2. Hora do Dia .....	33
2.16.3. Condições Climatéricas.....	34

2.17.	Cálculo dos Prejuízos dos Acidentes Rodoviários .....	35
2.18.	Projeção dos Prejuízos Rodoviários no País <b>Erro! Marcador não definido.</b>	
2.18.1.	Custos patrimoniais diretos: .....	35
2.18.2.	Custos patrimoniais indiretos .....	36
2.18.3.	Custos morais/ não patrimoniais: .....	36
2.19.	Estimação do Custo Económico e Social dos Acidentes de Viação .....	36
<b>3.</b>	<b>Investigação do Cenário do Acidente .....</b>	<b>40</b>
3.1.	Medição em Acidentes Rodoviários. ....	41
3.2.	Medições de coordenadas com o método Right Angle .....	42
3.3.	Medições de coordenadas com o método Triangular .....	43
3.4.	Medições de coordenadas com o método Chord/Height.....	44
3.5.	Medições de coordenadas com o método Total Station.....	45
3.6.	Reconstrução de Acidentes Automóveis.....	46
3.6.1.	Elaboração do Croqui .....	47
<b>4.</b>	<b>Cálculo de Impactos .....</b>	<b>49</b>
4.1.	Mecânica dos Corpos Rígidos .....	49
4.1.1.	Conservação do Momento.....	50
4.1.2.	Exercício Académico 1 .....	51
4.1.3.	Exercício académico 2.....	54
4.1.4.	Método da Conservação do Momento Através de Vetores .....	55
4.2.	Conservação de Energia.....	59
4.2.1.	Cálculo de EES.....	60
4.2.2.	Cálculo de Energia de Deformação com Base em Testes .....	61
4.2.3.	Exercício Académico 3 .....	64
4.2.4.	Exercício Académico 4 .....	68
4.2.5.	Exercício Académico 5 .....	71
4.3.	Simulação Multicorpo .....	72
<b>5.</b>	<b>Conclusões e Propostas Futuras .....</b>	<b>77</b>
5.1.	Conclusões .....	77
5.2.	Propostas futuras .....	79
	<b>Referencias Bibliográficas .....</b>	<b>81</b>
	<b>Anexo 1 .....</b>	<b>84</b>
	<b>Anexo 2 .....</b>	<b>85</b>
	<b>Anexo 3 .....</b>	<b>87</b>
	<b>Anexo 4 .....</b>	<b>88</b>

<b>Anexo 5 .....</b>	<b>90</b>
<b>Caso real de um acidente rodoviário.....</b>	<b>90</b>
<b>Depoimento do Condutor do veículo nº1 .....</b>	<b>90</b>
<b>Depoimento do Condutor do veículo nº2.....</b>	<b>91</b>
<b>Croqui do acidente.....</b>	<b>95</b>
<b>Danos nos Veículos .....</b>	<b>96</b>
<b>6. Discussão.....</b>	<b>99</b>

## Índice de Figuras

Figura 1-Número de fatalidades rodoviárias nas estradas europeias, UE-28. (Statista Research Department, 2021). .....	3
Figura 2-Custos acumulados evitados com a redução da sinistralidade entre 1995 e 2019, (ANSR, 2019). .....	39
Figura 3-Exemplo de medição através do método Right Angle, (Accident Reconstruction Fundamentals, 1999). .....	42
Figura 4-Exemplo de medição da posição de um veículo através do método Triangular (Accident Reconstruction Fundamentals, 1999). .....	43
Figura 5-Exemplo de medição de uma via de rodagem através do método Triangular, (Accident Reconstruction Fundamentals, 1999). .....	43
Figura 6-Exemplo de medição através do método chord/height, (Accident Reconstruction Fundamentals, 1999). .....	44
Figura 7-Exemplo de medição de um via de rodagem através do método Chord/Height, (Accident Reconstruction Fundamentals, 1999). .....	45
Figura 8-Exemplo de uma Total Station. ....	46
Figura 9-Fluxograma das etapas do processo aplicado na reconstituição dos acidentes reais. Adaptado de: (Bernardo, D., 2012). ....	46
Figura 10-Esquema do Acidente, (Accident Reconstruction Fundamentals, 1999)...	51
Figura 11-Esquema do acidente, (Accident Reconstruction Fundamentals, 1999)...	55
Figura 12-Vetores dos momentos dos veículos durante o evento, (Accident Reconstruction Fundamentals, 1999). .....	56
Figura 13-Digrama de momentos após-colisão, (Accident Reconstruction Fundamentals, 1999). ....	57
Figura 14-Digrama de momentos após e pré colisão, (Accident Reconstruction Fundamentals, 1999). ....	57
Figura 15-Digrama de momentos pré- colisão, (Accident Reconstruction Fundamentals, 1999). ....	58
Figura 16-Imagens do Opel Astra F14 CVAN, BJ 1999 sinistrado, (Handbook of Accident Reconstruction, Part 1, 2014). .....	64
Figura 17-Esquema de pontos de deformação do veículo, (Handbook of Accident Reconstruction, Part 1, 2014). .....	65
Figura 18-Menu PC-Crash para determinar constante de rigidez do veículo, (Handbook of Accident Reconstruction, Part 1, 2014). ....	66
Figura 19-Menu PC-Crash para introduzir valores de deformação, (Handbook of Accident Reconstruction, Part 1, 2014). .....	67
Figura 20-Menu PC-Crash para calculo da energia de deformação, (Handbook of Accident Reconstruction, Part 1, 2014). .....	67
Figura 21-Sistema multicorpo, (PC-CRASH, Operating and Tecnical Manual, 2013). .....	73
Figura 22-Sistema de coordenadas inercial, (PC-CRASH, Operating and Tecnical Manual, 2013). ....	73
Figura 23-Etapas da simulação de um sistema multicorpo, (PC-CRASH, Operating and Tecnical Manual, 2013). ....	74

Figura 24-Veículo nº1.....	90
Figura 25-Menu do PC-Crash com características do veículo nº1. ....	91
Figura 26-Veículo nº2.....	92
Figura 27-Menu do PC-Crash com características do veículo nº2. ....	92
Figura 28-Vista aérea do local do acidente, com Indicação da zona onde terá ocorrido a colisão (local indicado pela seta) e sentido de circulação dos veículos intervenientes. ....	94
Figura 29-Danos provocados na traseira do lado esquerdo do veículo nº1, Ford Fiesta. ....	96
Figura 30-Danos do veículo nº1 na traseira e na parte frontal do veículo. ....	96
Figura 31-Danos no canto direito da frente do veículo nº2.....	97
Figura 32-Danos no espelho direito do veículo nº2.....	97
Figura 33-Danos na porta do lado direito do veículo nº2.....	97
Figura 34-Danos no sistema de ficção e amortecimento da roda da frente do lado direito do veículo nº2. ....	98

## Índice de Tabelas

Tabela 1-Distribuição de mortes por forma de locomoção, na região WHO (WHO, 2018).	8
Tabela 2-Fatalidades rodoviária por grupos Etários. (Pordata, 2021).	16
Tabela 3-Número de acidentes em milhares por tipo de acidentes.	19
Tabela 4-Acidentes, vítimas mortais, feridos graves e feridos ligeiros segundo a natureza do acidente em 2019. (ANSR, 2019).	21
Tabela 5-Número de veículos motorizados de passageiros por idade do veículo. (Pordata, 2021).	25
Tabela 6-Número de acidentes ocorridos na extensão rodoviária nacional por tipo de veículo. (Pordata, 2021).	28
Tabela 7-Tabela com a extensão em quilómetros de cada tipo de via. (Pordata, 2021).	30
Tabela 8-Número de ocorrências e de vítimas por tipo de luminosidade da via. (ANSR, 2019).	31
Tabela 9-Número de ocorrências e de vítimas em cada hora do dia. (ANSR, 2019).	33
Tabela 10-Número de ocorrências e de vítimas de acordo com cada tipo de condição climatérica na via. (ANSR, 2019).	34
Tabela 11-Custo unitário da sinistralidade rodoviária (ANSR e Handbook on the Extrenal Costs of Transport, 2019).	38
Tabela 12-Custo total da sinistralidade rodoviária em Portugal (ANSR e Handbook on the Extrenal Costs of Transport, 2019).	38
Tabela 13-Tabela de custos com acidentes rodoviários (ANSR e Handbook on the Extrenal Costs of Transport, 2019).	38
Tabela 14-Número de vítimas salvas entre 1995 e 2019, (ANSR, 2019).	39
Tabela 15-Coefficientes de fricção.	87
Tabela 16-Designação dos corpos que compõem o sistema muito corpo humano.	88
Tabela 17-Designação das articulações que compõem o sistema muito corpo humano.	89
Tabela 18-Características do veículo nº1.	90
Tabela 19-Características do veículo nº2.	92
Tabela 20-Tabela com características do local e envolvente do acidente.	93

## Índice de Ilustrações

Ilustração 1-Distribuição de mortes por forma de locomoção, na região WHO. ....	8
Ilustração 2-Croqui das posições finais dos veículos apos o acidente. ....	95

## Índice de Gráficos

Gráfico 1-Número de fatalidades nas estradas da UE por milhão de habitantes,2019. (Eurostate, 2021). .....	2
Gráfico 2-Enquadramento das fatalidades rodoviárias a nível mundial. (WHO, 2018). .....	4
Gráfico 3-Evolução do número de veículos de passageiros registados na Europa. (Statista Research Department, 2021). .....	5
Gráfico 4-Número de veículos a motor e número de mortos por 100 000 veículos em todo mundo. (WHO, 2018). .....	5
Gráfico 5-Evolução da sinistralidade na União Europeia (UE28) – nº de acidentes com vítimas. (ANSR, 2019). .....	6
Gráfico 6-Evolução da sinistralidade na União Europeia (UE28) – nº de vítimas mortais. (ANSR, 2019). .....	6
Gráfico 7-Evolução da sinistralidade na União Europeia (UE28) – nº de Feridos Graves. (ANSR, 2019). .....	7
Gráfico 8-Evolução da sinistralidade na União Europeia (UE28) – nº de Feridos leves. (ANSR, 2019). .....	7
Gráfico 9-Percentagem de mortos a nível mundial segunda idade. (WHO, 2018). ....	9
Gráfico 10-Percentagem de mortos a nível mundial segundo tipo de via. (WHO, 2018). .....	9
Gráfico 11-Número de mortos de cada Distrito em 2019. (Pordata, 2021). .....	12
Gráfico 12-Evolução da sinistralidade Portugal – nº de acidentes ocorridos. (ANSR, 2019). .....	13
Gráfico 13-Evolução da sinistralidade Portugal – nº de vítimas mortais. (ANSR, 2019). .....	14
Gráfico 14-Evolução da sinistralidade Portugal – nº de feridos graves. (ANSR, 2019). .....	14
Gráfico 15-Evolução da sinistralidade Portugal – nº de feridos ligeiros. (ANSR, 2019). .....	15
Gráfico 16-Número de fatalidades por grupo etário. (Pordata, 2021). .....	17
Gráfico 17-Número de fatalidades por género. (Pordata, 2021). .....	18
Gráfico 18-Número de acidentes em milhares por tipo de acidentes. (Pordata, 2021). .....	19
Gráfico 19-Número de mortos e de mortos por atropelamento. (Pordata, 2021). ....	20
Gráfico 20-Número de crimes rodoviárias entre 2014 e 2019. (ANSR, 2019). .....	22
Gráfico 21-Número de crimes rodoviários. (ANSR, 2019). .....	23
Gráfico 22-Infrações rodoviárias em 2018. (ANSR, 2019). .....	23
Gráfico 23-Infrações rodoviárias em 2019. (ANSR, 2019). .....	24
Gráfico 24-Número de veículos motorizados de passageiros por idade do veículo. (Pordata, 2021). .....	25
Gráfico 25- Número de acidentes ocorridos na extensão rodoviária nacional. (Pordata, 2021). .....	28
Gráfico 26-Extensão total da rede nacional rodoviária. (Pordata, 2021). .....	29

Gráfico 27-Decomposição da extensão da rede nacional rodoviária. (Pordata, 2021). .....	29
Gráfico 28-Gráfico percentual dos acidentes com vítima (AcV) e das vítimas mortais (VM) em 2019 consoante a iluminação. (ANSR, 2019).....	31
Gráfico 29-Gráfico percentual dos Feridos graves (FG) e dos Feridos ligeiros (FL) em 2019 consoante a iluminação. (ANSR, 2019).....	32
Gráfico 30-Percentagem de ocorrências de acidentes rodoviários por período horário. (ANSR, 2019).....	33
Gráfico 31-Percentagem de ocorrência de acidentes por estado climatérico. (ANSR, 2019). .....	34

## **Simbologia e Abreviaturas**

**ANSR**- Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária;

**INE**- Instituto Nacional de Estatística;

**EES**- Energy Equivalent Speed;

**EBS**- Equivalente Barrier Speed;

**OECD**- Organização de Cooperação e Desenvolvimento Económico;

**WHO**- World Health Organization;

**AcV**- Acidente com Vítima Mortal;

**ONU**-Organização das Nações Unidas;

**UE**-União Europeia;

**ABS**- Anti-lock Braking System;

**CBS**- Combined Braking System;

**IP**-Itinerário Principal;

**IC**-Itinerário Complementar;

**CARE**- Community database on Accidents on the Roads in Europe;

**PSP**-Polícia de Segurança Pública;

**GNR**-Guarda Nacional Republicana;

**NHSTA**- National Highway Traffic Safety Administration;

**Euro NCAP**- European New Car Assessment Programme;

**ISO**-International Organization for Standardization;

**CAD**-Computer-Aided Design;

**PIB**-Produto interno Bruto;

**ENSR**- Estratégia Nacional para a Segurança Rodoviária;

**ACEA**- Associação Europeia de Fabricantes de Automóveis;

**N.D.**- Não Definido;

## Definição de Conceitos Relacionados com Acidentes Rodoviários

**Acidente** - Ocorrência na via pública ou que nela tenha origem envolvendo pelo menos um veículo, do conhecimento das entidades fiscalizadoras (GNR e PSP) e da qual resultem vítimas e/ou danos materiais.

**Acidente com vítimas** - Acidente do qual resulte pelo menos uma vítima.

**Acidente mortal** - Acidente do qual resulte pelo menos um morto.

**Acidente com feridos graves** - Acidente do qual resulte o mínimo de um ferido grave, não tendo ocorrido qualquer morte.

**Acidente com feridos leves** - Acidente do qual resulte pelo menos um ferido leve e em que não se tenham registado vítimas mortais nem feridos graves.

**Vítima** - Ser humano que em consequência de acidente sofra danos corporais.

**Morto/Vítima mortal (no local)** - Vítima de acidente cujo óbito ocorra no local do evento ou durante o percurso até à unidade de saúde.

**Morto/Vítima mortal a 30 dias** - Vítima cujo óbito ocorra no período de 30 dias após o acidente. Em conformidade com o Despacho n.º 27808/2009, de 31 de dezembro, o número de “Mortos a 30 dias” assume um carácter definitivo no prazo de seis meses após a ocorrência do acidente.

**Ferido grave** - Vítima de acidente cujos danos corporais obriguem a um período de hospitalização superior a 24 horas.

**Ferido leve** - Vítima de acidente que não seja considerada ferida grave.

**Condutor** - Indivíduo que detém o comando de um veículo ou animal na via pública.

**Passageiro** - Indivíduo afeto a um veículo na via pública e que não seja condutor.

**Peão** - Indivíduo que transita na via pública a pé e em locais sujeitos à legislação rodoviária. Consideram-se ainda peões todas as pessoas que conduzam à mão velocípedes ou ciclomotores de duas rodas sem carro atrelado ou carros de crianças ou de deficientes físicos.

**Índice de gravidade** - Número de vítimas mortais por cada 100 acidentes com vítimas.

**Indicador de gravidade** -  $IG = 100.VM + 10.FG + 3.FL$ , em que VM é o número de mortos, FG o de feridos graves e FL o de feridos leves.

**Ponto negro** - Lanço de estrada com o máximo de 200 metros de extensão, no qual se registou, pelo menos, 5 acidentes com vítimas, no ano em análise, e cuja soma de indicadores de gravidade é superior a 2.

## 1. Introdução

Toda a rodovia seja ela um arruamento, uma autoestrada, uma estrada municipal, uma estrada nacional ou IP/IC é um elemento fundamental na vida dos seus utilizadores sejam eles: peões, passageiros ou condutores, e na vida económica de todos os países, mas tal elemento beneficiador traz também riscos e estes riscos refletem-se muitas vezes em sinistralidade.

Tal desejo pela maior facilidade de mobilidade já acompanha o ser humano à muitos séculos podendo ser considerado ainda mais antigo que a invenção da própria roda. Permite que as pessoas se relacionem e que seja possível realizar transações de bens, a realização de serviços e a troca de experiências culturais, o que possibilita a existência de uma economia em crescimento, possibilitando assim a melhoria da qualidade da vida humana.

À mobilidade humana, estão associados custos que vão muito para além dos custos que normalmente lhe são inerentes como o seguro do veículo, as manutenções dos mesmos, o combustível, entre outros.

Estes custos podem ser classificados todos como custos patrimoniais, mas o maior custo que advém da mobilidade é o aumento exponencial da ocorrência de custos humanos para a sociedade o que gera uma diminuição do bem-estar coletivo.

A mobilidade automóvel ter-lhe-á sempre associado este risco humano como qualquer outra atividade humana, este risco teve início com o aparecimento do primeiro automóvel, concebido e patenteado por Karl Benz a 29 de janeiro de 1886 na Alemanha, que com a sua adesão pelo público começou a gerar vítimas, tendo sido oficialmente o primeiro ferido leve da história a dirigir um automóvel movido a gasolina o engenheiro James Lambert que se despistou e embateu contra um poste a 1891 em Ohio, e a primeira morte causada por um automóvel foi a de Bridget Driscoll que foi atropelada mortalmente enquanto caminhava nas ruas de Londres, Inglaterra.

A problemática dos acidentes rodoviários acabou por chegar a Portugal na data de 1895 pelo primeiro automóvel nacional um Panhard et Levassor que atropelou mortalmente um burro quando era conduzido pelo seu dono o Conde de Avilez, D. Jorge de Sousa Feio.

A sinistralidade rodoviária é considerada uma questão de saúde pública e que desde 1895 teve um grande crescimento em número e em gravidade evoluindo de mortes de animais para a morte de pessoas, evolução tal que acabou por se refletir numa contabilização em 2019 de 35704 vítimas dentro das quais 474 mortes em 2019 (PORDATA, 2021) apenas a nível nacional, já a nível mundial os valores são tais que a sinistralidade rodoviária tomou a qualificação de principal causa de morte entre a população jovem e a oitava causa em todas as faixas etárias (ERSO, 2018).

## 2. Caracterização da Sinistralidade Rodoviária

### 2.1. Contextualização da União Europeia quanto à sinistralidade rodoviária

A sinistralidade rodoviária continua a ser uma das principais causas de morte na UE e a principal causa entre os jovens (WHO, 2018), tornando-se esta a razão da morte de 22 800 pessoas em toda a União Europeia em 2019 (WHO, 2013). Mesmo com a introdução de alterações no código da estrada, o maior rigor na imposição das regras de utilização das rodovias e a sensibilização das populações em especial a população mais jovem, não fez com que as metas dos números de acidentes, e por sua vez o número de vítimas delineadas no passado fossem atingidas. Mas a implementação destas diversas medidas contra este tema tem produzido uma trajetória decrescente nas últimas décadas refletindo-se, como mostra o gráfico 1, no número de 51 mortes por milhão de habitantes em 2019, menos 2% de mortes que 2018 e menos 23% que 2010 (Comissão Europeia sobre sinistralidade).

### 2.2. Balanço dos Países da UE.

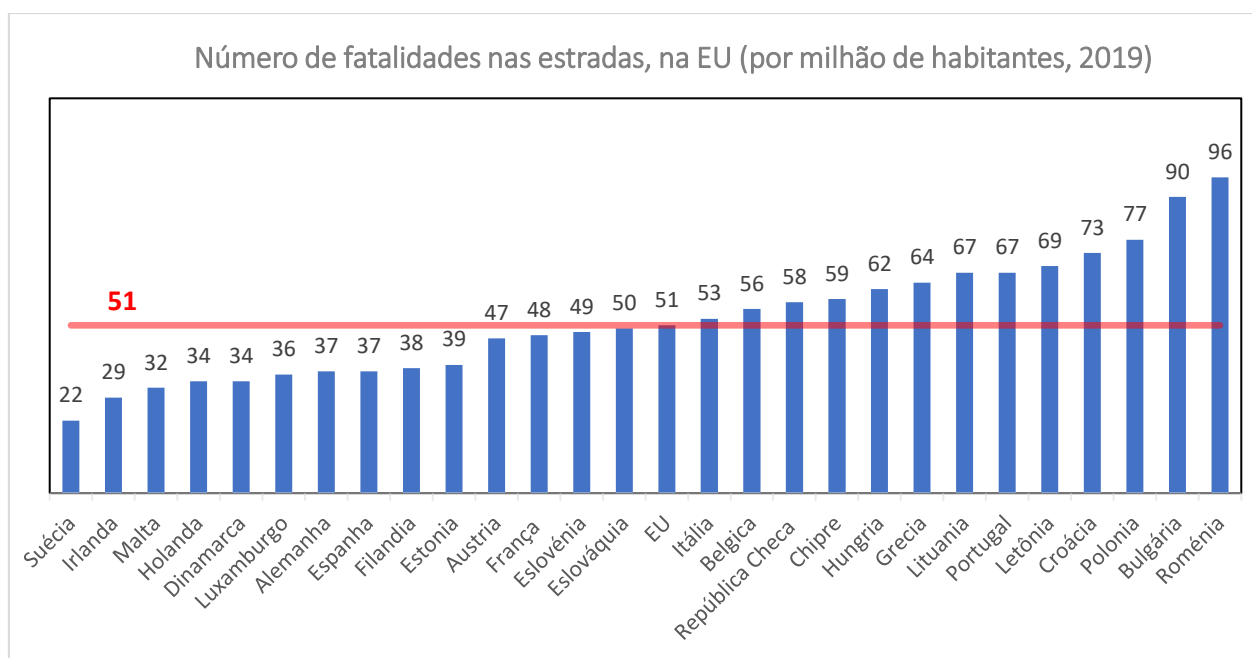
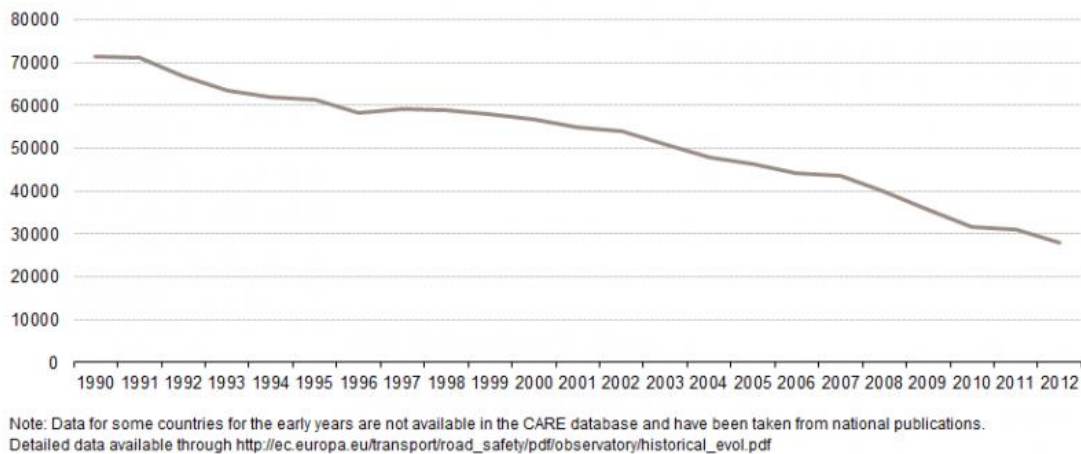


Gráfico 1-Número de fatalidades nas estradas da UE por milhão de habitantes,2019. (Eurostate, 2021).

A União Europeia apresentou um número de mortes nas estradas europeias no ano de 2019 extremamente baixa comparada com os valores de mortes no ano de 1990 que ficavam acima dos 70 000 mortos (Eurostat, 2021).

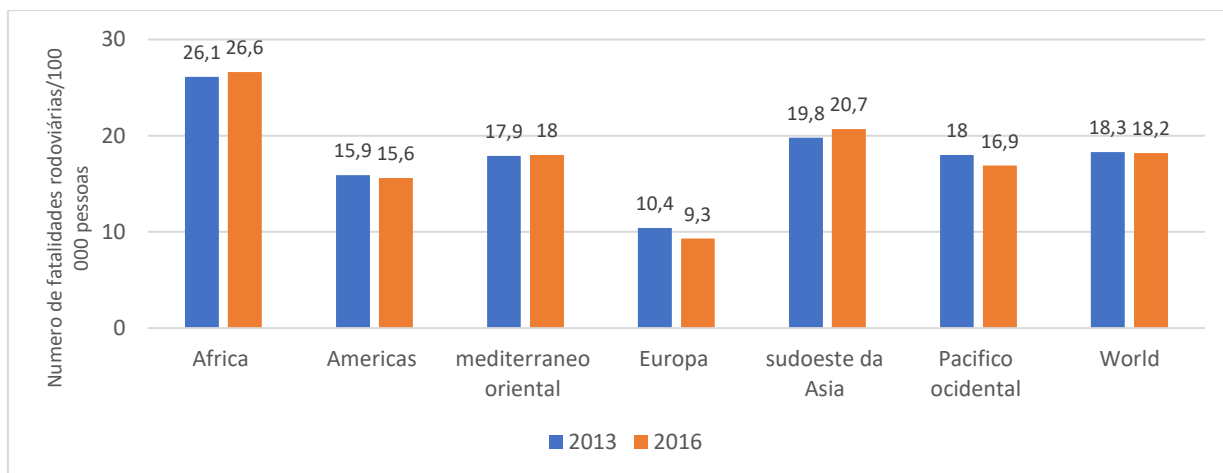
Em 2019 a diferença de valores de mortos por milhão de habitantes entre países foi considerável, sendo o pior país na União Europeia a Roménia com uma média de 96 e o melhor a Suécia com 22 (WHO, 2018), a União Europeia ainda apresenta números bastante elevados deste rácio para todos os utilizadores das suas estradas, mas á que realçar a evolução positiva que ocorreu nos números de mortes nas estradas europeias.

Como mostra a figura 1 entre 1990 e 2012 nas estradas europeias o número de mortes nas estradas diminui cerca de 57%, de 70 mil para menos de 30 mil pessoas (Statista Research Department, 2020).



**Figura 1-Número de fatalidades rodoviárias nas estradas europeias, UE-28. (Statista Research Department, 2021).**

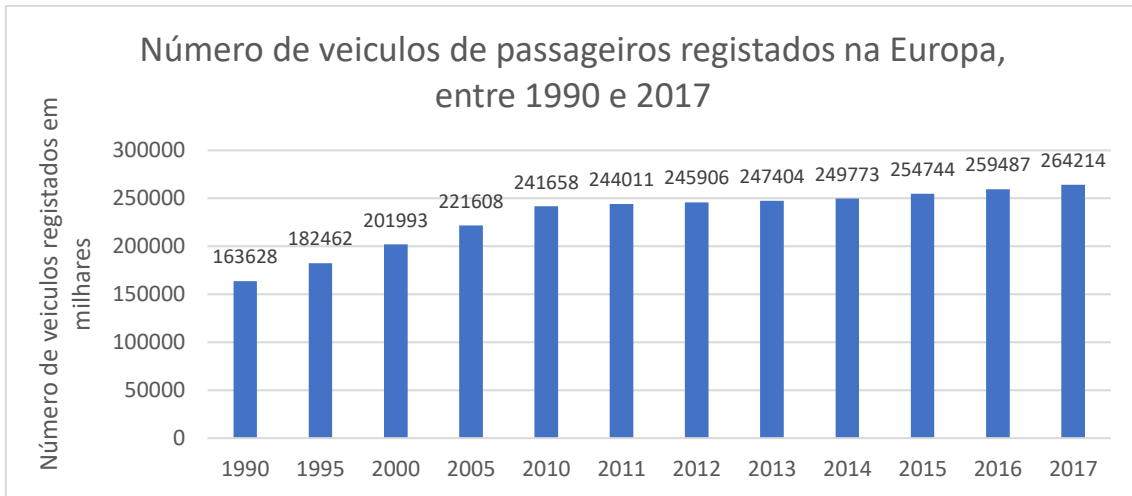
### 2.3. Comparação da Europa com as restantes zonas do Globo.



**Gráfico 2-Enquadramento das fatalidades rodoviárias a nível mundial. (WHO, 2018).**

O continente europeu foi até agora e ainda é considerada a região do planeta mais segura em termos de segurança nas estradas, posição que assegurou com o constante investimento na segurança das rodovias, foi com investimentos desta forma que foi maximizada a trajetória decrescente entre 2013 e 2016 da média de mortos nas estradas por 100 mil habitantes que é possível observar no gráfico 2. Com uma redução de 10,4 para 9,3 mortos por 100 mil habitantes (WHO, 2018), com estes resultados a União Europeia foi considerada a zona com o melhor resultado neste espaço temporal em comparação com todas as regiões do planeta, sendo a pior a região de África com uma média de mortos por 100 mil habitantes de 26,6 mortos em 2016, após ter sofrido uma evolução crescente do rácio de mortos desde 2013 em contraste com todas as restantes zonas do globo (WHO, 2018).

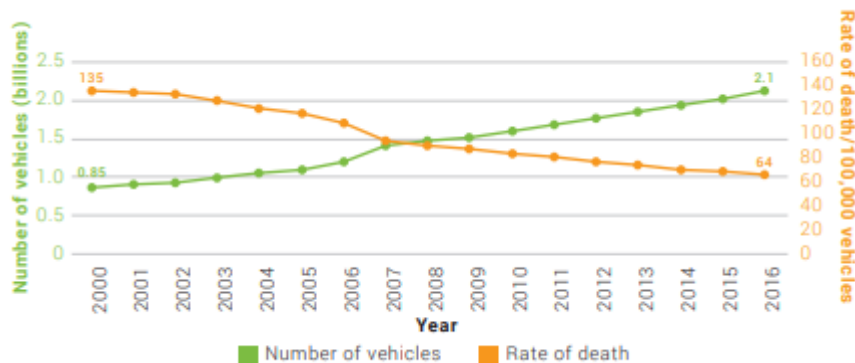
## 2.4. Crescimento do Número de Veículos.



**Gráfico 3-Evolução do número de veículos de passageiros registados na Europa. (Statista Research Department, 2021).**

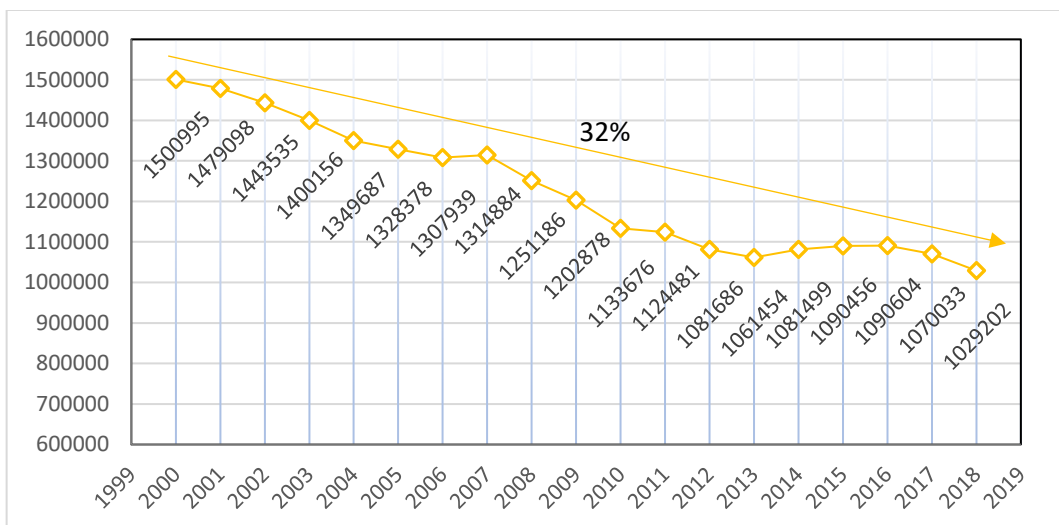
Em sentido oposto ao decréscimo dos números de mortos na Europa ao longo das últimas décadas está o crescimento do número dos automóveis de passageiros, com um máximo de veículos desta categoria registado em 2017 de 264,2 milhões de veículos (Statista Research Department, 2020), este máximo apresentado foi em 2017 por este ter sido o último ano da amostra realizada, o que leva a crer que este número tenha continuado a crescer.

Embora exista um crescimento do número de veículos a circular nas estradas é possível concluir através da comparação dos números do gráfico 3 e da análise do gráfico 4 com os rácios de mortos no mesmo período temporal que os automóveis fornecem mais segurança aos condutores, mas também que os automobilistas estão mais sensibilizados para a temática da sinistralidade rodoviária e adotam mais as regras do código da estrada.



**Gráfico 4-Número de veículos a motor e número de mortos por 100 000 veículos em todo o mundo. (WHO, 2018).**

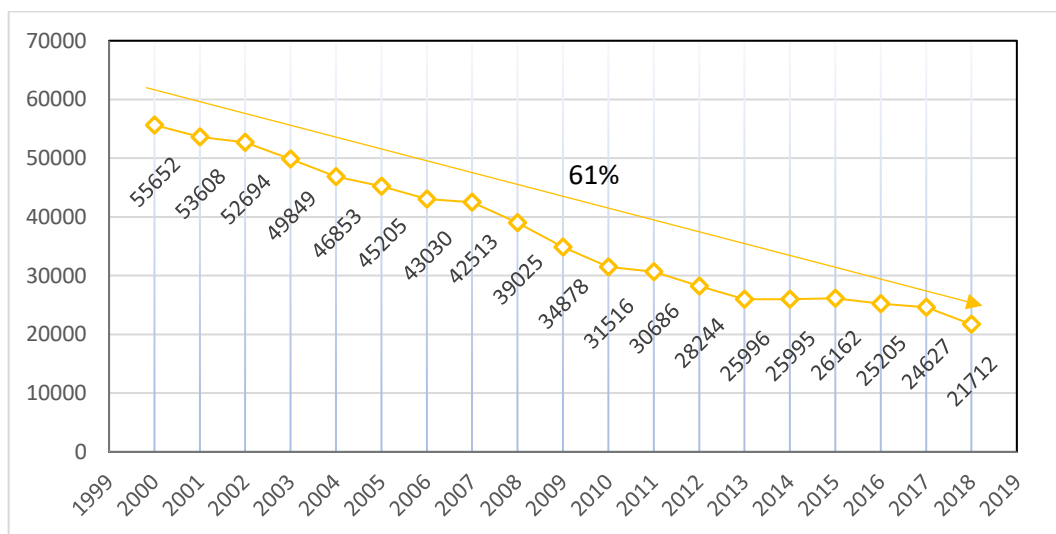
## 2.5. Evolução dos VM, FG e dos FL na União Europeia



**Gráfico 5-Evolução da sinistralidade na União Europeia (UE28) – nº de acidentes com vítimas. (ANSR, 2019).**

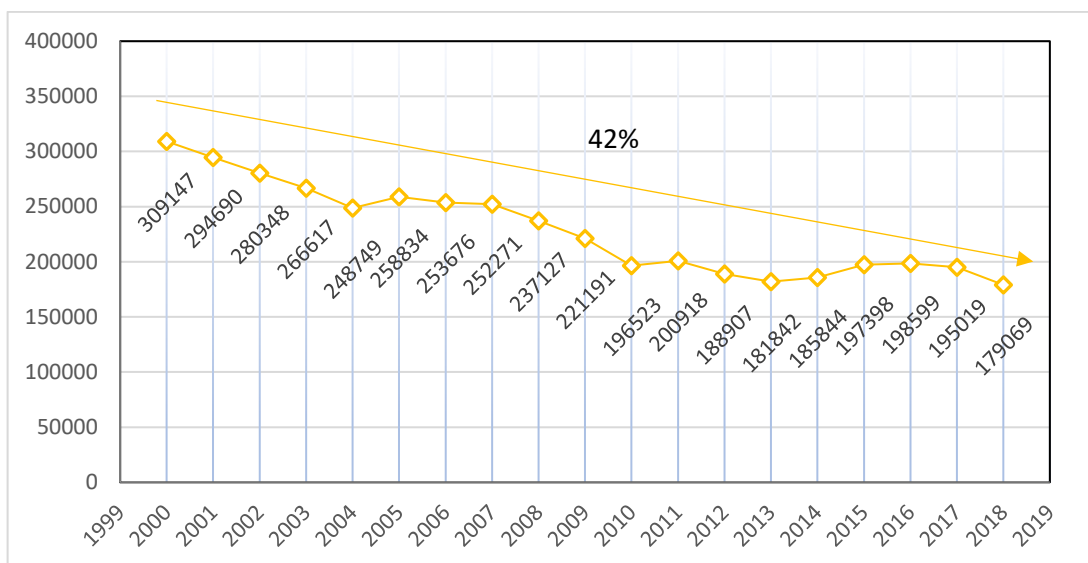
Os principais índices que caracterizam o estado e a evolução de um país ou uma zona quanto à temática da sinistralidade são o VM, FG e o FL que são o valor de mortos, o valor de feridos graves e o valor de feridos ligeiros respetivamente.

Quanto ao número de acidentes com vítimas a UE demonstra uma redução de 32% nos últimos 18 anos, tendo apenas registado crescimentos do número de acidentes com vítimas entre 2006-2007 e entre 2013-2016, é também observável no gráfico 5 que o menor número deste tipo de acidentes foi registado em 2019 foi de 1 029 202 acidentes (ANSR, 2019).



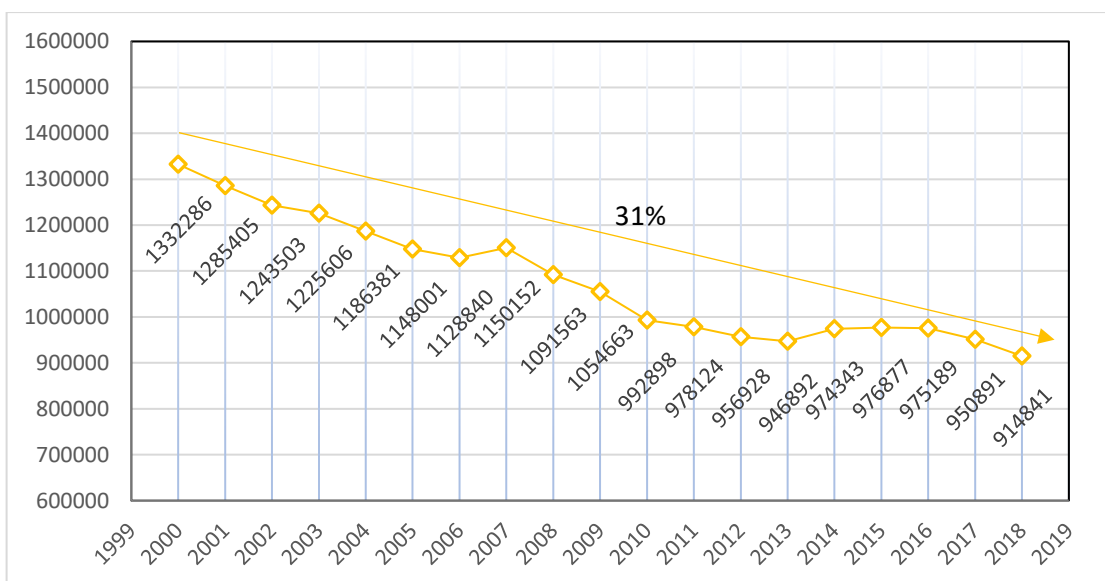
**Gráfico 6-Evolução da sinistralidade na União Europeia (UE28) – nº de vítimas mortais. (ANSR, 2019).**

Em questão de fatalidades a evolução das VM é a mais positiva, ao apresentar uma redução entre 2000 e 2018 de 61% passando do trágico valor de 55 652 para 21 712 mortos segundo os dados apresentados no gráfico 6 (ANSR, 2019).



**Gráfico 7-Evolução da sinistralidade na União Europeia (UE28) – nº de Feridos Graves. (ANSR, 2019).**

Relativamente aos FG o gráfico 7 demonstra uma trajetória que foi também decrescente, com um decréscimo de 42% a evolução foi positiva, e apenas apresentou trajetórias crescentes entre os anos de 2004-2005, 2010-2011 e 2013-2016, concluindo-se que entre 2004-2005 e 2010-2011 os acidentes tiveram índices de gravidade maiores já entre 2013-2016 foi apenas o resultado do aumento de acidentes com vítimas (ANSR, 2019).



**Gráfico 8-Evolução da sinistralidade na União Europeia (UE28) – nº de Feridos leves. (ANSR, 2019).**

Logo a seguir ao valor do número de acidentes com vítimas o número de FL é o mais elevado e o que apresenta menor redução de decréscimo de valores entre 2000 e 2018, em todos os anos em estudo o ano com o menor valor de FL é 2019 com 914 841 feridos ligeiros (ANSR, 2019), este valor é observável no gráfico 8.

## 2.6. Caracterização dos Acidentes

Distribution of deaths by road user type by WHO Region

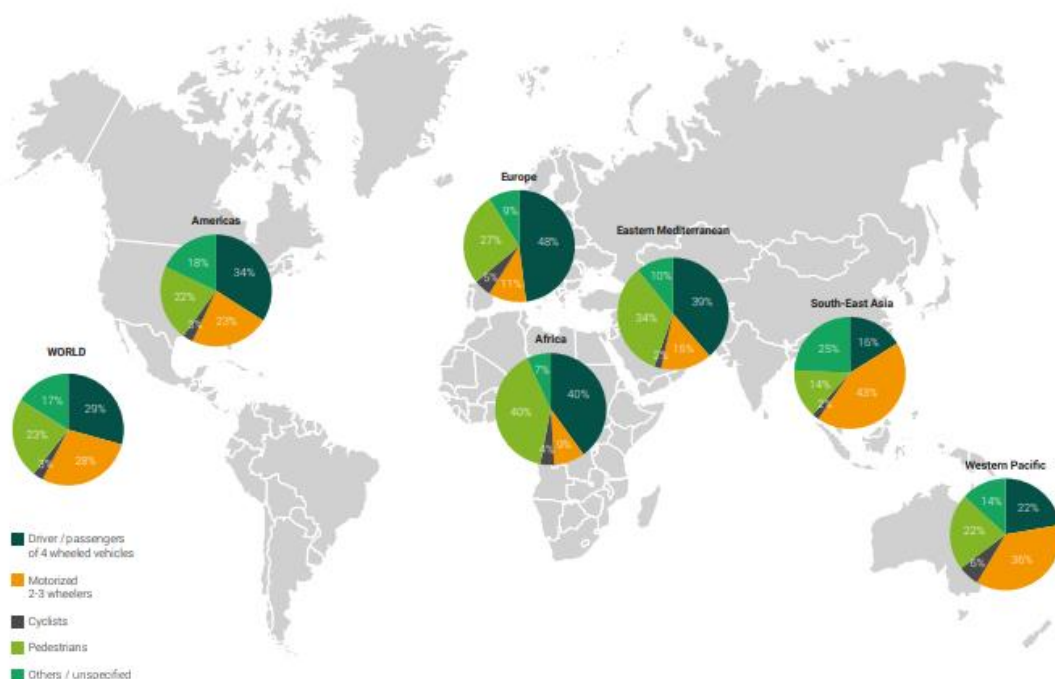


Ilustração 1-Distribuição de mortes por forma de locomoção, na região WHO.

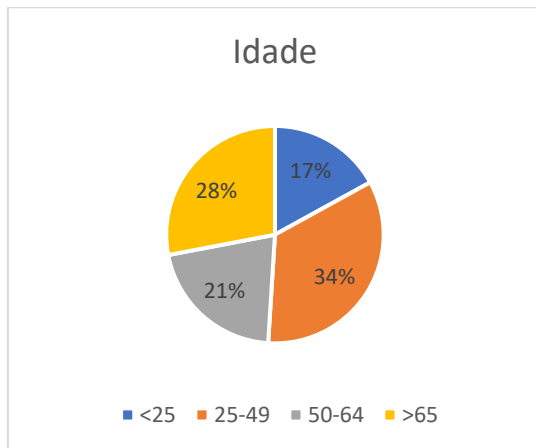
Tabela 1-Distribuição de mortes por forma de locomoção, na região WHO (WHO, 2018).

	Europa	África	Mediterrâneo Oriental	Sudoeste da Asia	América	Mundo
Utilizadores de veículos de quatro rodas	48%	40%	39%	16%	34%	29%
Utilizadores de motociclos	11%	9%	15%	43%	23%	28%
Ciclistas	5%	4%	2%	2%	3%	3%
Peões	27%	40%	34%	14%	22%	23%
Outros	9%	7%	10%	25%	18%	17%

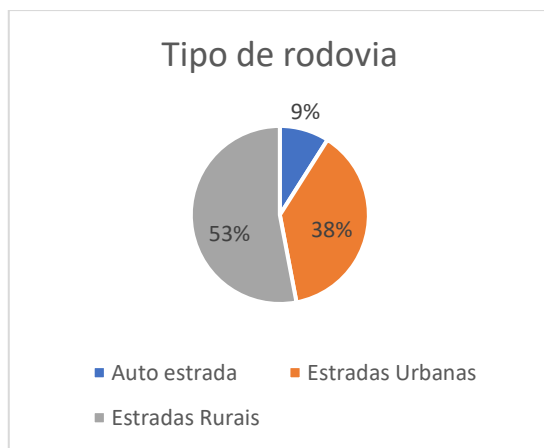
Embora maioritariamente as estradas mundiais sejam todos os dias percorridas freneticamente por veículos de 4 ou mais rodas são os peões, os ciclistas e os motociclistas que compõem mais de 50% das mortes nas estradas mundiais, sendo que estes veículos/formas de deslocação apresentam a sua maior incidência de fatalidades no Sudoeste da Asia.

A distribuição do número de mortes por forma de locomoção é facilmente observável na ilustração1 e na tabela 1 (WHO, 2018).

Existem muitos outros fatores para além dos tipos de veículos usados que influenciam a ocorrência ou a não ocorrência de acidentes com ou sem vítimas mortais nas estradas (Maio, A., 2009), alguns deles são a idade dos condutores/ocupantes e o tipo de rodovia.



**Gráfico 9-Percentagem de mortos a nível mundial segunda idade. (WHO, 2018).**



**Gráfico 10-Percentagem de mortos a nível mundial segundo tipo de via. (WHO, 2018).**

Como é perceptível pelos gráficos 9 e 10 representados em cima, alguns dos fatores que mais influenciam a nível mundial a ocorrência de acidentes fatais nas estradas para além do tipo de veículo usado são as idades dos utilizadores e o tipo de estrada que usam, que em sentido contrário ao senso comum os tipos de estradas que causam mais mortes não são as estradas com valores de tráfego maiores situadas nas grandes zonas urbanas, mas sim nas estradas das zonas rurais com pouca população.

## 2.7. Padrões de Segurança

A SAE International (Society of Automotive Engineers International), é uma entidade que redige padrões ambientais e de segurança para veículos.

A SAE International desenvolve informações técnicas sobre todos os tipos de veículos a motor, incluindo aeronáutica, aeronaves, automóveis, equipamentos off-road, veículos marítimos, veículos ferroviários, camiões e autocarros (Eurolab, 2021).

Os padrões desenvolvidos pela SAE International de acordo com sua visão podem ser agrupados sob os seguintes títulos:

- Os padrões AeroPaks que abrangem mais de oito mil padrões, especificações, práticas recomendadas e documentos de recursos da aviação SAE.
- Os padrões da Jpaks que cobrem mais de dois mil padrões de veículos terrestres da SAE.
- Padrões de qualidade aeroespacial que fornecem ferramentas de melhoria contínua para apoiar os fabricantes e fornecedores a permanecerem em conformidade e garantir a qualidade.
- Os padrões J1939 são a família padrão de redes de área de controladores da SAE International para veículos pesados

Os Regulamentos Técnicos Globais foram desenvolvidos ao abrigo da Convenção Internacional 1998 sobre construção de veículos, na qual a UE é Parte integrante. Os regulamentos aprovam os aspetos de segurança e ambiente dos veículos. É regido pelo Fórum Mundial para a Harmonização dos Regulamentos de Veículos, um grupo de trabalho contínuo da UNECE (Eurolab, 2021).

Alguns destes aspetos/padrões de segurança e ambiente dos veículos são aferidos no laboratório Eurolab em Istambul, e encontram-se em anexo 1.

Mas as realidades mundiais são muito dispare e os padrões aplicados não são homogéneos em todas as zonas do globo. A Índia é o quarto maior produtor de veículos do mundo e recentemente começou a aplicar novos padrões de segurança de veículos para automóveis de passageiros e motociclos. Em 2014, testes de colisão independentes realizados pela iniciativa Global NCAPs Safer Cars for India revelaram que alguns dos modelos mais vendidos da Índia seriam reprovados no teste de colisão frontal da ONU. Testes realizados a uma velocidade mais alta, efetuados pela NCAP (European New Car Assessment Programme), também resultaram em classificações muito baixas, indicando um alto risco de ferimentos fatais ou graves (WHO, 2018).

## **2.8. Planos e Metas a Nível Mundial**

Em 2019 numa amostra com 175 países participantes, apurou-se que existiam cerca de 132 países a nível mundial com estratégias implementadas para o combate contra a sinistralidade e 109 tem metas de redução de número de mortes causadas pelas mesmas causas (WHO,2018).

A Suécia (com 10,23 milhões de pessoas, aproximadamente o mesmo que Portugal) é atualmente líder em segurança rodoviária com 2,8 mortos por 100 mil habitantes. Entre 1990 e 2015 o número de mortos decresceu 66% através de planeamento a longo-prazo, investimentos sustentáveis, e foco nas metas de segurança.

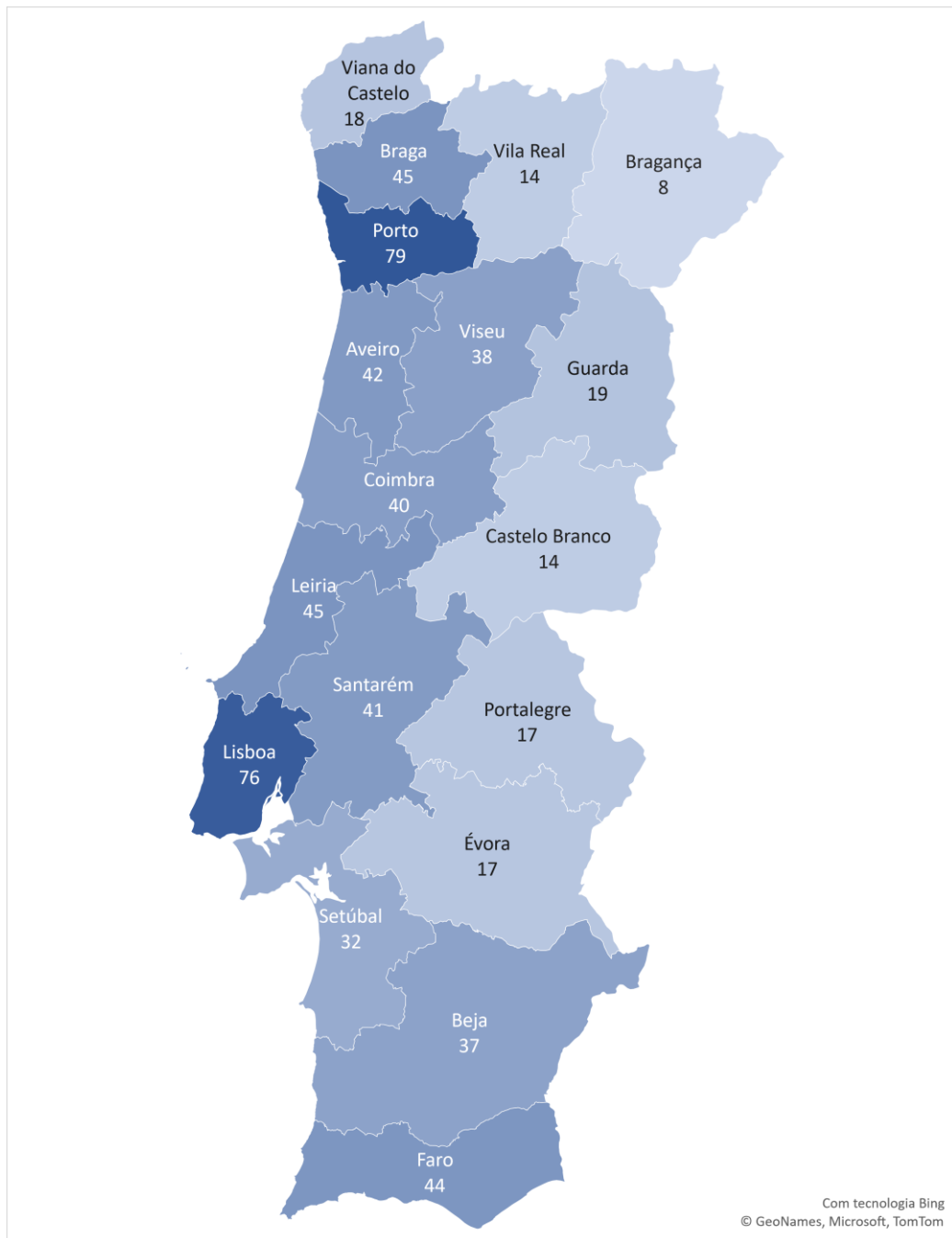
Em outubro de 1997 a Suécia adotou uma estratégia que agora está a ser implementada em outros países incluindo Portugal, denominada Visão Zero esta estratégia a longo-prazo tinha como principal força criar uma responsabilidade partilhada do sistema de tráfego entre os utilizadores das vias de forma a evitar a recorrência de erros humanos. Para 2020 a Suécia tinha como objetivo de progresso a inclusão de mais infraestruturas de segurança nas vias públicas como barreiras de divisão de estradas, mais vias próprias para ciclistas e peões, mais rigidez quanto ao não cumprimento do limite de velocidade e ao não uso dos sistemas de segurança dos veículos (WHO, 2018).

A Visão Zero da Suécia, afirma que “Ninguém deverá morrer ou sofrer lesões graves em consequência dos acidentes rodoviários e que a conceção e o funcionamento dos sistemas de transporte rodoviários deverão ser adaptados aos requisitos resultantes deste regulamento”, algumas das diretrizes da Visão Zero encontram-se em anexo 2. Uma abordagem similar foi adotada na Holanda com uma visão baseada na segurança sustentável, que se centra na prevenção de colisões e em tornar as estradas mais “tolerantes” ao erro humano por parte dos utilizadores das mesmas (UNECE, 2021).

## **2.9. Sinistralidade em Portugal**

Portugal relativamente à Europa apresenta uma média de 67 mortos por milhão de habitantes em 2019, o que é um valor superior à média europeia de 51 no mesmo período, o que evidencia uma menor aposta por parte de Portugal no combate à sinistralidade em comparação com a maioria dos restantes países europeus.

Na análise e apresentação do estado da sinistralidade rodoviária nacional serão da mesma maneira que na análise à UE apresentados valores indicadores VM, FG e FL do estado e evolução da sinistralidade nacional e posteriormente apresentados fatores que de forma mais acentuada influenciaram estes resultados, incluindo fatores humanos, mecânicos, ambientais e geográficos.



**Gráfico 11-Número de mortos de cada Distrito em 2019. (Pordata, 2021).**

No gráfico 11 é possível ver quais são os números de mortes ocorridas em 2019 por cada distrito, é também possível realçar não só que o maior número de mortes ocorre nos dois maiores aglomerados populacionais do país, Lisboa e Porto, como também que toda a zona litoral tem um maior índice de mortes que o interior do país.

A análise a este gráfico torna-se interessante porque é visível a relação direta que existe entre a densidade populacional e a maior ocorrência de mortes por número de acidente rodoviário (ANSR, 2019).

Com a conclusão deste panorama ao nível da distribuição dos acidentes por distrito verifica-se também que o número de “pontos negros”, é mais elevado nestes locais, em 2019 cerca de 46 (85%) dos “pontos negros” ocorreram nas áreas metropolitanas de Lisboa e Porto.

Em 2019 foram classificados como “pontos negros” 54 locais sendo que 22 (40%) dos quais são recorrentes, ou seja, têm parte comum com, pelo menos, um dos troços dos “pontos negros” verificados nos 4 anos anteriores.

Os “pontos negros” mais recorrentes são na A2 (acesso à Ponte 25 de Abril) e no IC17 (CRIL) que já têm vindo a ser classificados como tal deste 2015.

## 2.10. Evolução dos VM, FG e dos FL em Portugal

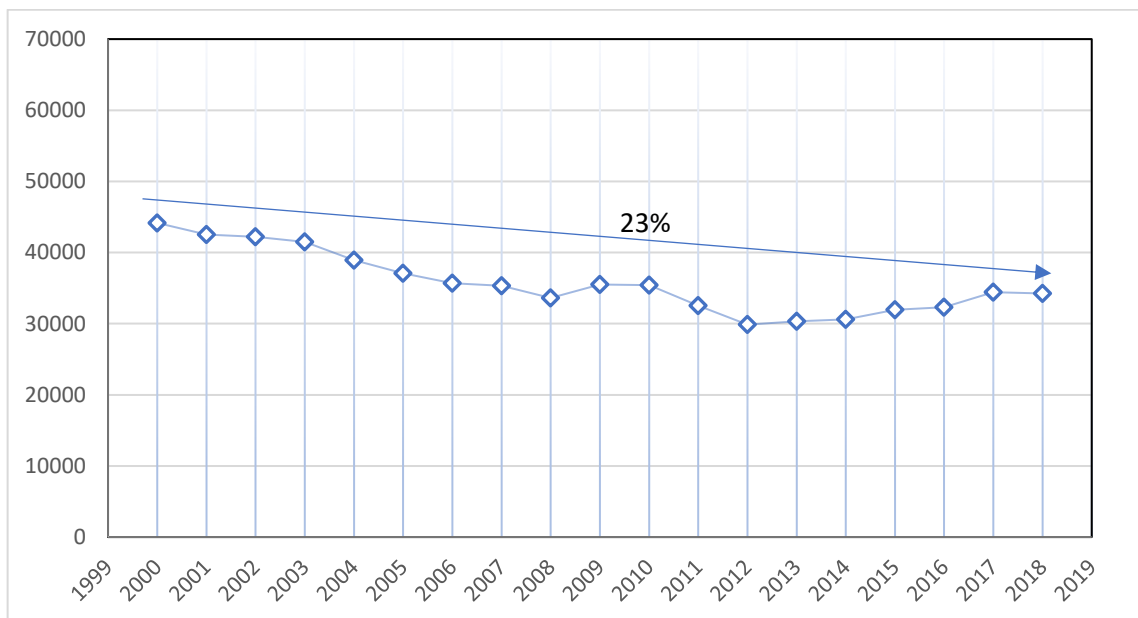
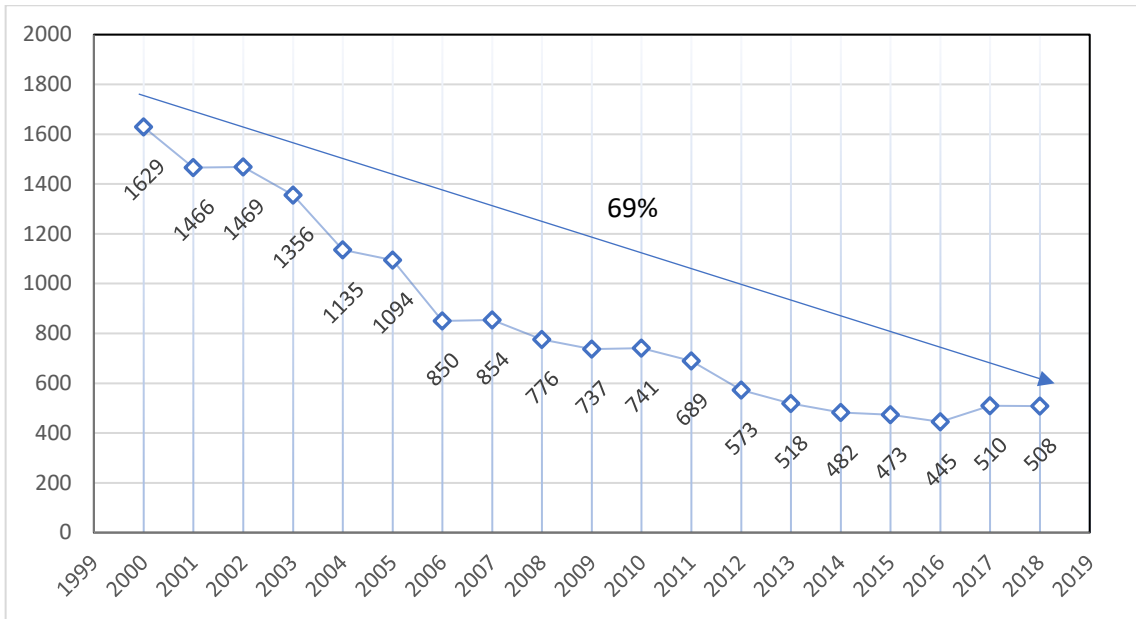
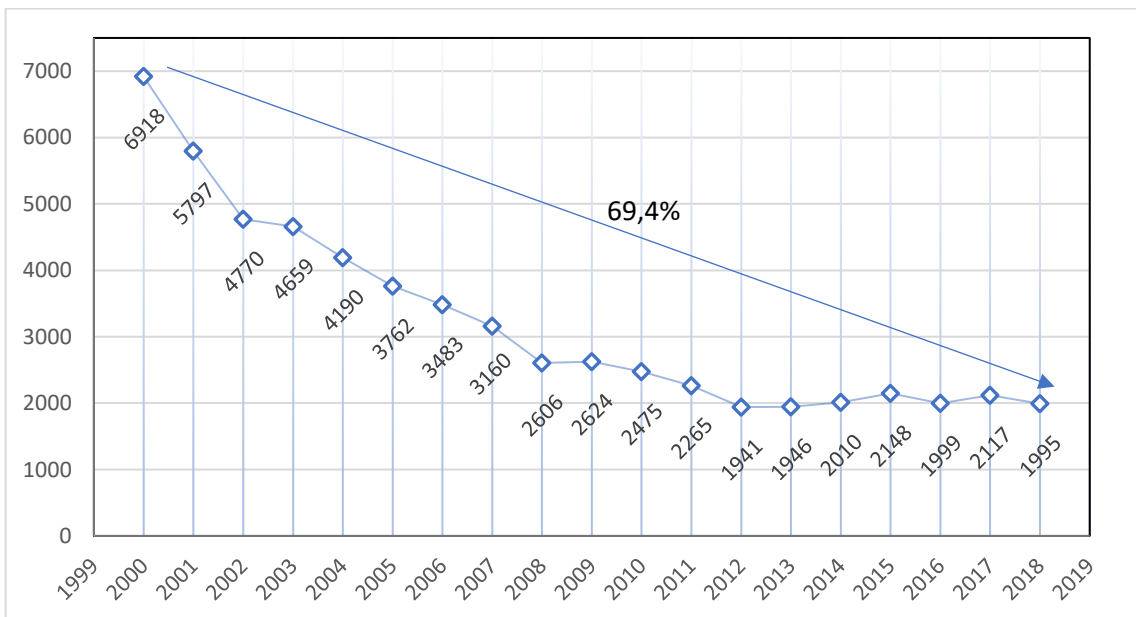


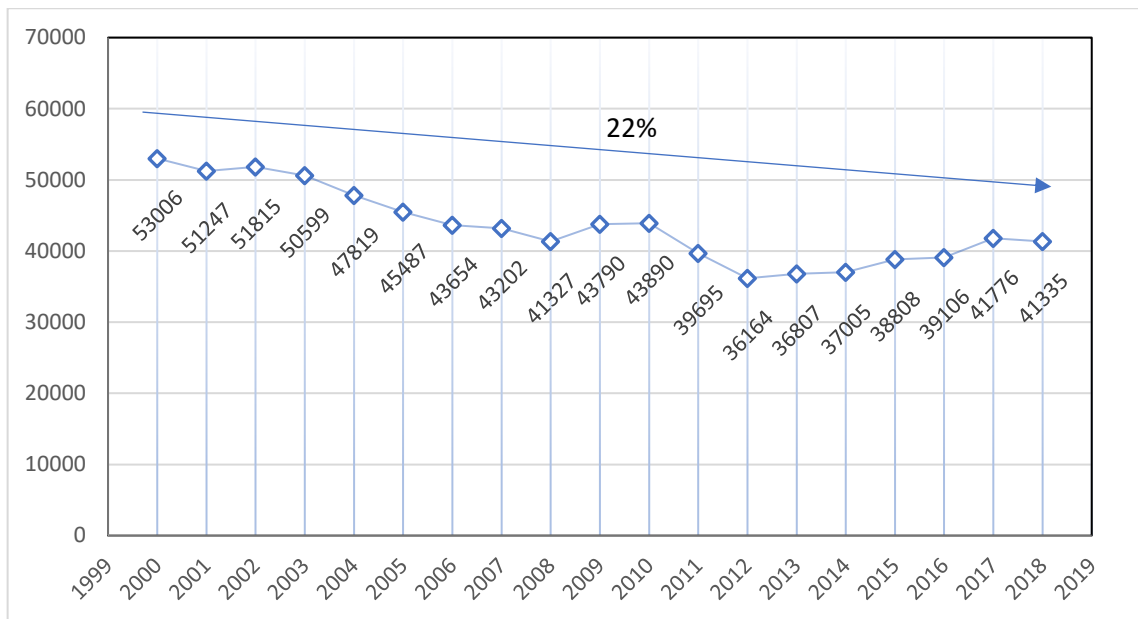
Gráfico 12-Evolução da sinistralidade Portugal – nº de acidentes ocorridos. (ANSR, 2019).



**Gráfico 13-Evolução da sinistralidade Portugal – nº de vítimas mortais. (ANSR, 2019).**



**Gráfico 14-Evolução da sinistralidade Portugal – nº de feridos graves. (ANSR, 2019).**



**Gráfico 15-Evolução da sinistralidade Portugal – nº de feridos ligeiros. (ANSR, 2019).**

Os gráficos 12, 13, 14 e 15 demonstram o percurso dos resultados da sinistralidade rodoviária portuguesa entre 2000 e 2018.

No gráfico 12 são expostos os números dos acidentes ocorridos no espaço temporal referido e embora a evolução destes números seja positiva a redução que apresentam de 23% entre 2000 e 2018 fica relativamente abaixo da redução média ocorrida na Europa de 32% no mesmo período temporal (ANSR, 2019).

A redução de casos de acidentes rodoviários não foi constante no tempo em análise, e como tal o seu mínimo de casos não foi em 2018, mas sim em 2012 com um número de 29867 acidentes.

No gráfico 13 estão os valores dos números de vítimas mortais resultantes e ao contrário da evolução do número de acidentes a evolução do número de mortes nas estradas em Portugal apresenta uma redução mais acentuada do que aquela registada na média europeia, de 69% para Portugal e 61% para a média europeia, esta comparação indica que a maioria dos acidentes ocorridos na Europa tem um índice de gravidade superior ao de Portugal.

O gráfico 14, representa o número de acidentes com feridos graves, e como o gráfico 11, tem uma redução de casos entre 2000 e 2018 superior à redução verificada na Europa, de 69,4% para Portugal e 43% para a média europeia.

Em Portugal entre 2000 e 2018 houve uma redução de 4923 acidentes com feridos graves e embora 2018 não tenha sido o ano com melhor resultado a redução existente é extremamente significativa.

Quanto ao número de feridos ligeiros expostos no gráfico 15, de todos os gráficos com base de estudo nacional é o que tem a redução menos acentuada, de apenas 22% ou de menos 11671 feridos ligeiros, entre 2000 e 2018.

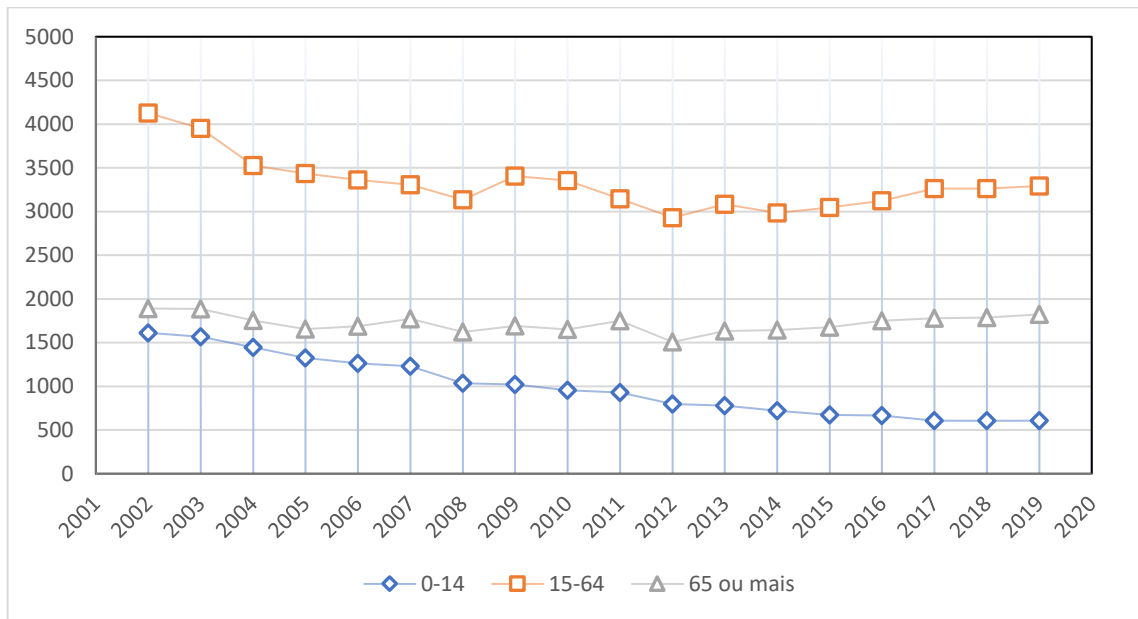
Esta redução em relação há ocorrida na europa foi menos acentuada, tendo a redução europeia sido de 31% (PORDATA, 2021).

## 2.11. Fatores humanos

### 2.11.1. Idade dos Intervenientes

**Tabela 2-Fatalidades rodoviária por grupos Etários. (Pordata, 2021).**

Anos	Fatalidades rodoviárias por grupos Etários			
	Total	0-14	15-64	65 ou mais
2002	7730	1612	4126	1890
2003	7474	1566	3951	1886
2004	6819	1447	3526	1754
2005	6470	1326	3433	1656
2006	6366	1262	3361	1687
2007	6326	1231	3305	1771
2008	5812	1034	3136	1622
2009	6133	1021	3407	1692
2010	5964	954	3355	1649
2011	5826	929	3144	1748
2012	5245	799	2930	1507
2013	5499	778	3082	1633
2014	3540	721	2985	1644
2015	5399	672	3047	1675
2016	5537	666	3122	1749
2017	5651	606	3262	1780
2018	5652	605	3261	1786
2019	5723	607	3293	1823



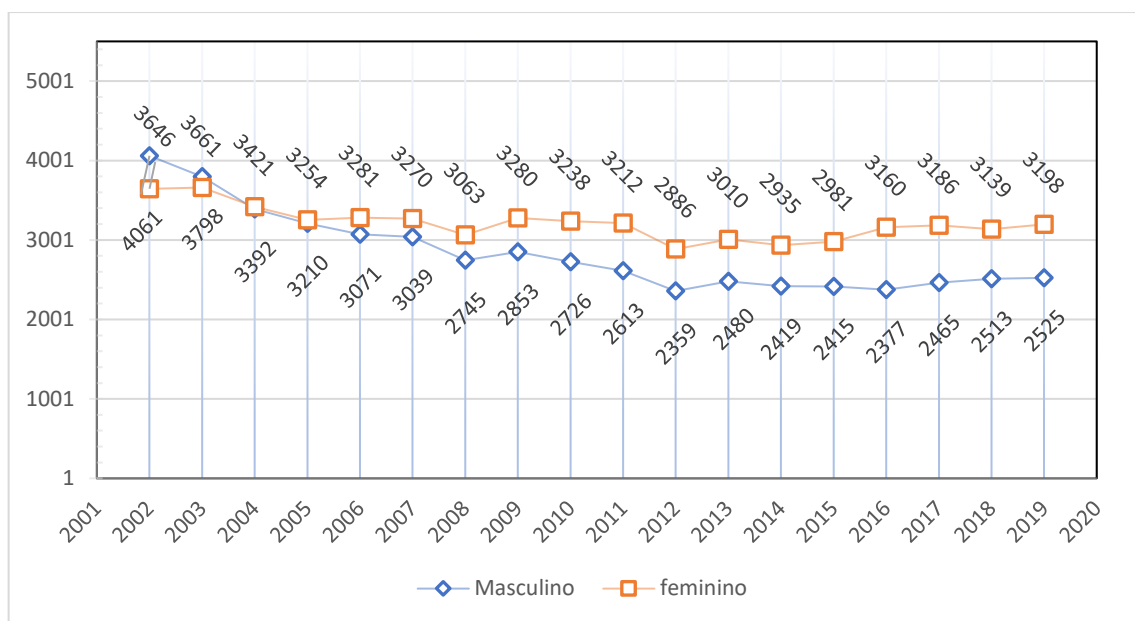
**Gráfico 16-Número de fatalidades por grupo etário. (Pordata, 2021).**

O principal interveniente e ao mesmo tempo na maioria dos casos o mais lesado num acidente rodoviário é normalmente o condutor do veículo, daí muitos dos fatores que caracterizam o condutor são relevantes.

Um dos fatores relevantes é a idade do condutor/ passageiros, é possível observar pelo gráfico 16 e pela tabela 2 que existem 2 grupos etários que tem um decréscimo visível no seu número de fatalidades, um é o grupo etário dos 0-14 anos ao qual se atribui o decréscimo de vítimas devido as campanhas realizadas nas escolas e nos media como “MORTES NA ESTRADA VAMOS TRAVAR ESTE DRAMA” realizada em 2007 pela ANSR mas também pelo maior uso de tecnologias de segurança para crianças como ISOFIX.

Outro grupo etário, o que realiza mais atividade nas rodovias, que também apresenta uma descida no seu número de fatalidades embora não tão acentuada é o grupo dos 15-64 com um decréscimo entre 2002 e 2019 de 833 mortos, embora a maioria dos grupos etários tenha tido um decréscimo visível o grupo etário dos indivíduos com mais de 65 anos apresenta uma posição quase estagnada nos dezassete anos analisados, o que pode ser uma preocupação.

## 2.11.2. Género dos Intervenientes



**Gráfico 17-Número de fatalidades por género. (Pordata, 2021).**

Segundo os dados da Pordata é visível que existe uma diferença no número de mortos do sexo masculino em comparação com o número de mortos do sexo feminino, sendo que os indivíduos do sexo feminino foram mais fatigados pelos acidentes rodoviários.

A maior diferença entre mortos de sexo diferente ocorreu no ano de 2016, num total de 5537 mortos, em que de acordo com o gráfico 17, de todas estas mortes contabilizadas, 57,1% foram do sexo feminino e apenas 42,9% do sexo masculino (PORDATA, 2021).

## 2.12. Tipo de Acidente Rodoviário

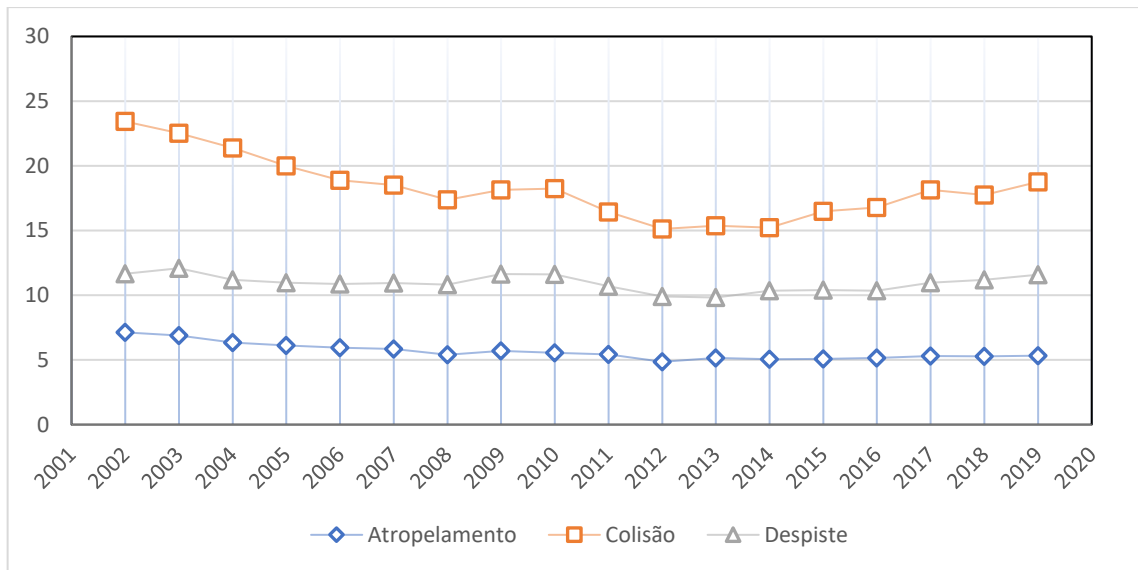


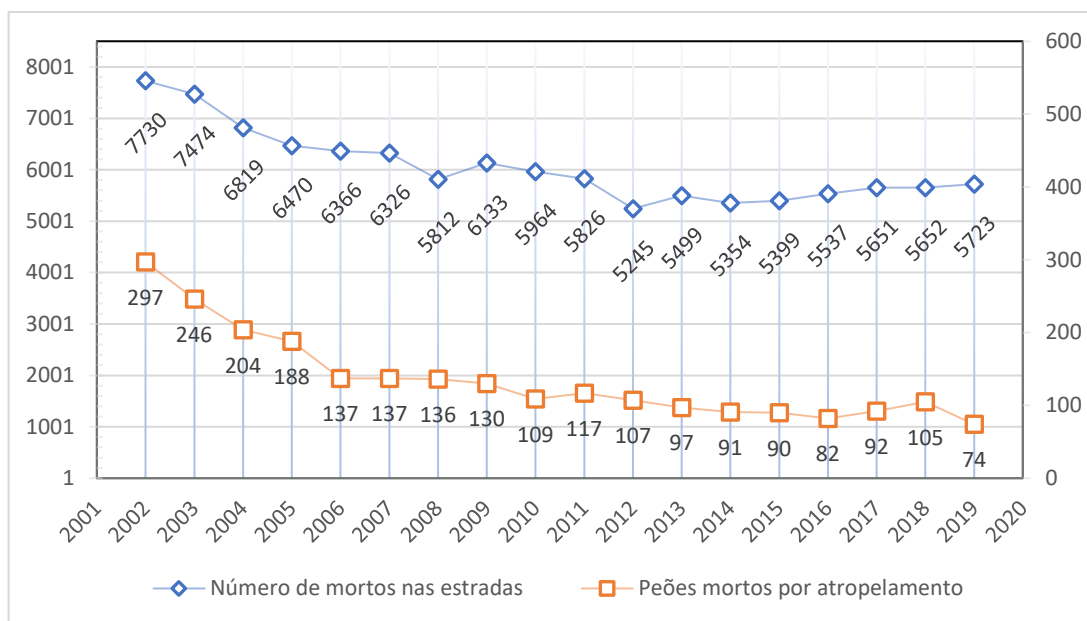
Gráfico 18-Número de acidentes em milhares por tipo de acidentes. (Pordata, 2021).

Tabela 3-Número de acidentes em milhares por tipo de acidentes. (Pordata, 2021).

Anos	Número de acidentes em milhares			
	Total	Atropelamento	Colisão	Despiste
2002	42,219	7,129	23,428	11,662
2003	41,495	6,886	22,525	12,084
2004	38,93	6,349	21,396	11,188
2005	37,066	6,112	19,994	10,96
2006	35,68	5,934	18,886	10,86
2007	35,311	5,853	18,521	10,937
2008	33,613	5,412	17,38	10,821
2009	35,484	5,705	18,148	11,631
2010	35,426	5,559	18,251	11,616
2011	32,541	5,416	16,438	10,687
2012	29,867	4,853	15,122	9,892
2013	30,339	5,149	15,369	9,821
2014	30,604	5,043	15,219	10,342
2015	31,953	5,07	16,494	10,389
2016	32,299	5,165	16,787	10,347
2017	34,416	5,308	18,139	10,969
2018	34,235	5,282	17,752	11,201
2019	35,704	5,337	18,771	11,596

Nesta categoria verifica-se no gráfico 18 e na tabela 3 que a natureza de acidentes com maior expressão é colisão entre veículos, que representa em média 53% dos acidentes nos dezoito anos da amostra analisada, o despiste tem uma representação média de 30% e o atropelamento com pequenas variações no seu número de acidentes nos últimos onze anos da amostra tem uma média de 17% (PORDATA, 2021).

Embora no global o número de acidentes tenha caído entre 2002 e 2019 a partir de 2014 o número de acidentes resultante por colisão adquiriu uma evolução crescente.



**Gráfico 19-Número de mortos e de mortos por atropelamento. (Pordata, 2021).**

Embora o número de acidentes por atropelamento se tenha mantido relativamente constante nos onze anos da amostra do gráfico 19, é observável que o número de mortes resultantes por este tipo de acidente teve um decréscimo significativo, com uma diminuição de 223 mortos entre 2002 e 2019, e um decréscimo de 62 mortos nos últimos onze anos da amostra o que representa uma redução de 45,6% (PORDATA, 2021). Percurso inverso que se registou no mesmo espaço temporal na soma de mortes resultantes dos diversos tipos de acidentes rodoviários.

**Tabela 4-Acidentes, vítimas mortais, feridos graves e feridos ligeiros segundo a natureza do acidente em 2019. (ANSR, 2019).**

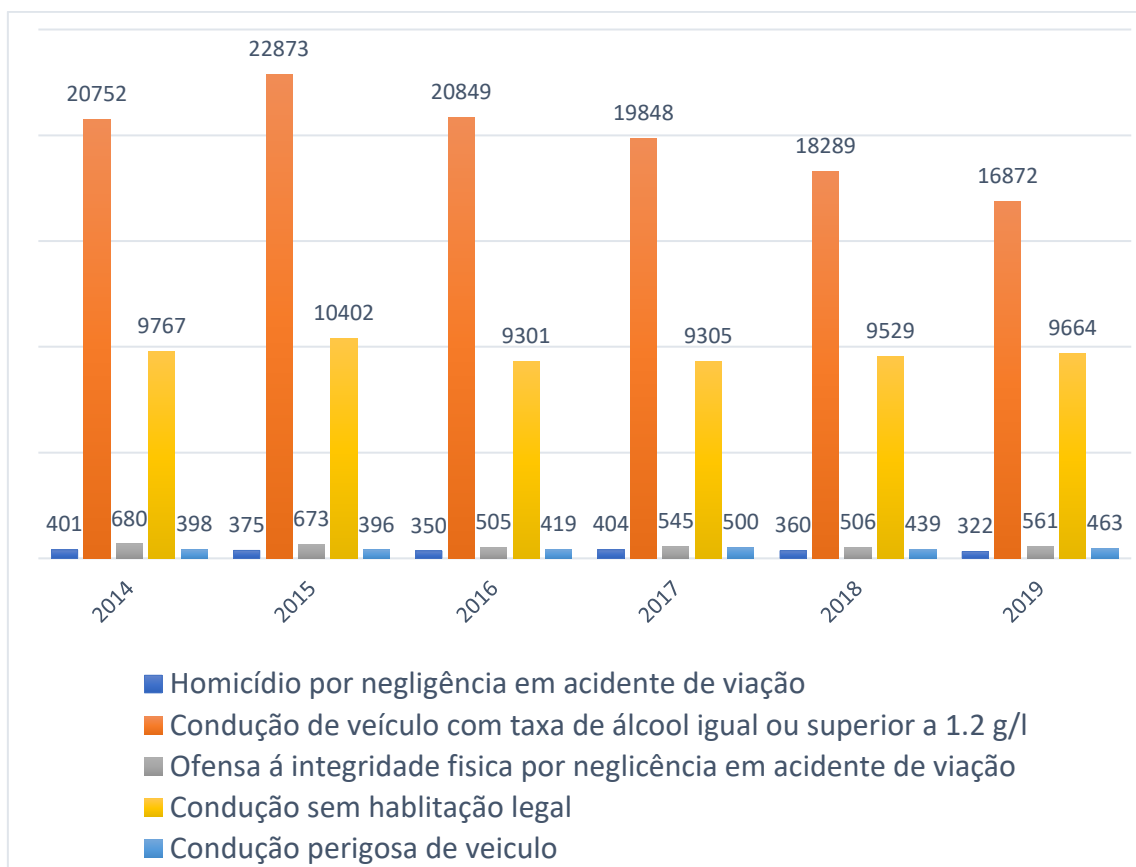
		AcV	VM	FG	FL	Total de Feridos	Indicador de gravidade
<b>Atropelamento</b>	Atropelamento de peões	4799	116	358	4779	5253	2,4
	Atropelamento de animais	66	1	0	69	70	1,5
	Atropelamento com fuga	472	11	33	448	492	2,3
<b>Colisão</b>	Colisão com fuga	617	3	30	724	757	0,5
	Colisão com outras situações	3178	32	124	4102	4258	1
	Colisão frontal	2713	104	302	4106	4512	3,8
	Colisão traseira com outro veículo em movimento	4146	36	145	5541	5722	0,9
	Colisão lateral com outro veículo em movimento	6452	60	273	8144	8477	0,9
	Colisão com veículo ou obstáculo na faixa de rodagem	963	12	48	1202	1262	1,2
	Colisão choque em cadeia	702	6	14	1140	1160	0,9
<b>Despiste</b>	Despiste com dispositivo de retenção	497	1	14	546	561	0,2
	Despiste sem dispositivo de retenção	1624	15	51	1709	1775	0,9
	Despiste com fuga	98	0	19	108	127	0
	Despiste simples	6141	119	453	6686	7258	1,9
	Despiste com transposição do dispositivo de retenção lateral	178	10	14	220	244	5,6
	Despiste com capotamento	1945	74	194	2407	2675	3,8
	Despiste com colisão com veículo imóvel, ou obstáculo	1113	26	96	1252	1374	2,3
<b>Total</b>		<b>35704</b>	<b>675</b>	<b>2168</b>	<b>43183</b>	<b>45977</b>	<b>1,8</b>

Dentro das categorias Atropelamento, Colisão e Despiste existem diversos tipos mais específicos de acidentes, e alguns deles estão catalogados na tabela 4.

Dos tipos de acidentes rodoviários praticados em 2019 os que mais mortos originaram foram o atropelamento de peões com 116 vítimas mortais e o despiste simples com 119 vítimas mortais, mas nenhum dos dois tipos apresentados foi o que teve maior indicador de gravidade (IG), os que tiveram maior indicador de gravidade foram o despiste com transposição do dispositivo de retenção lateral com 5,6 IG e o despiste com capotamento e a colisão frontal com 3,8 IG, que causaram 10 mortos em 178 acidentes e 104 mortos em 2713 acidentes respetivamente (ANSR, 2019).

O formato de acidente mais praticado em Portugal no ano 2019 foi a colisão lateral com outro veículo em movimento com 6452 casos contabilizados, o que perfaz 18% de todos os formatos de acidentes catalogados na tabela 4 ocorridos em 2019.

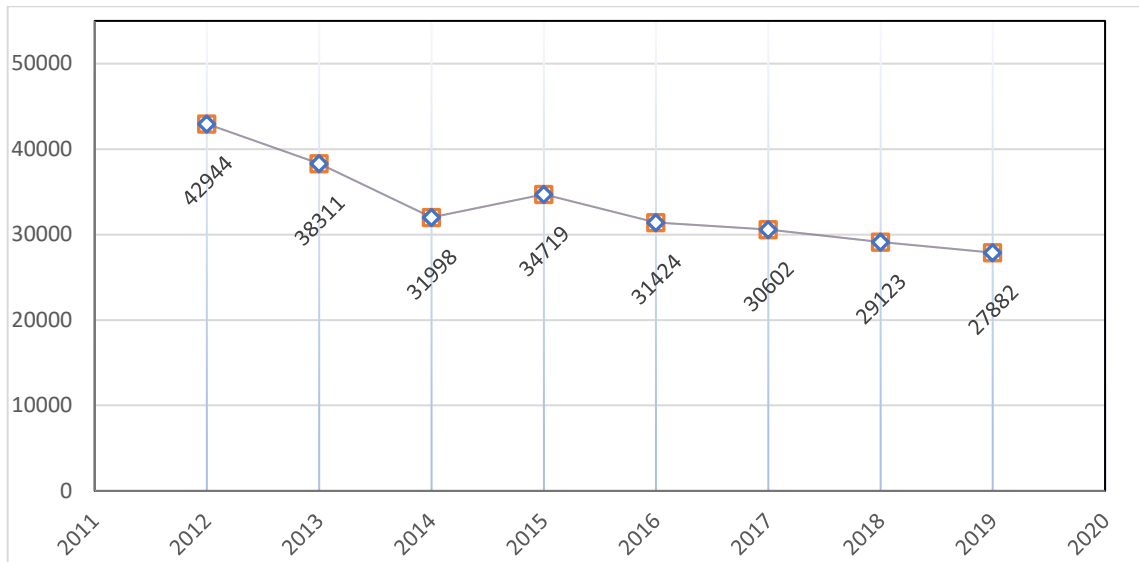
## 2.13. Crimes/Infrações



**Gráfico 20-Número de crimes rodoviários entre 2014 e 2019. (ANSR, 2019).**

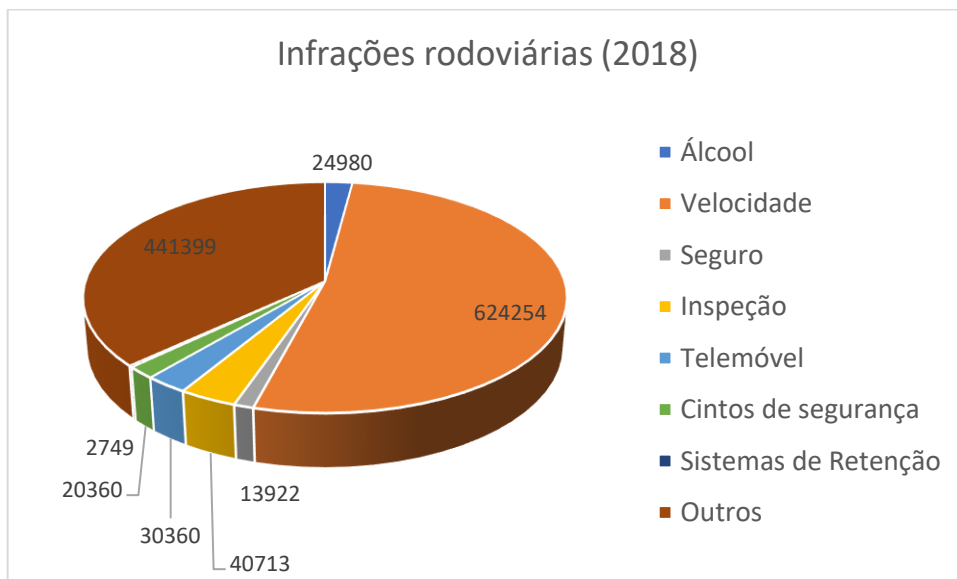
É possível observar no gráfico 20 as formas de crimes rodoviários mais comuns em Portugal, são estas a condução com taxa de álcool igual ou superior a 1,2 g/l com 16872 casos em 2019 e a condução de veículos sem habilitação para a condução dos mesmos com 9664 casos contabilizados em 2019 (ANSR, 2019).

Os outros tipos de crimes rodoviários com alguma relevância praticados nas rodovias publicas portuguesas são: o homicídio por negligência em acidente de viação, a ofensa á integridade física por negligência em acidente de viação e a condução perigosa de veículo. Estas crimes representam 4,8% dos crimes cometidos pelos indivíduos que circulam nas rodovias portuguesas.

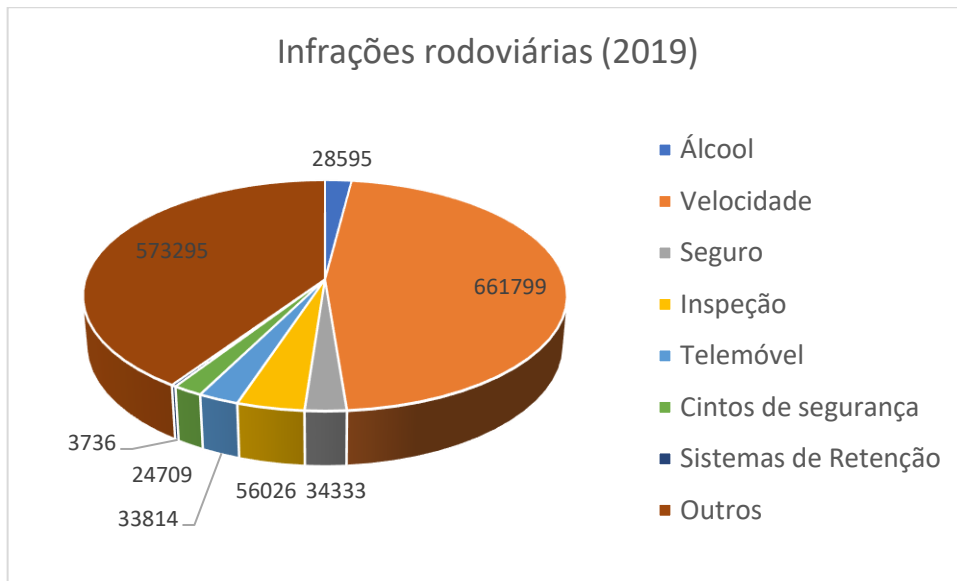


**Gráfico 21-Número de crimes rodoviários. (ANSR, 2019).**

Analisando o gráfico 20 e o gráfico 21 é possível concluir que a prática de crimes rodoviários tem uma tendência decrescente assim como a ocorrência de acidentes nas estradas, apresenta uma diminuição de 35% dos casos entre 2012 e 2019.



**Gráfico 22-Infrações rodoviárias em 2018. (ANSR, 2019).**

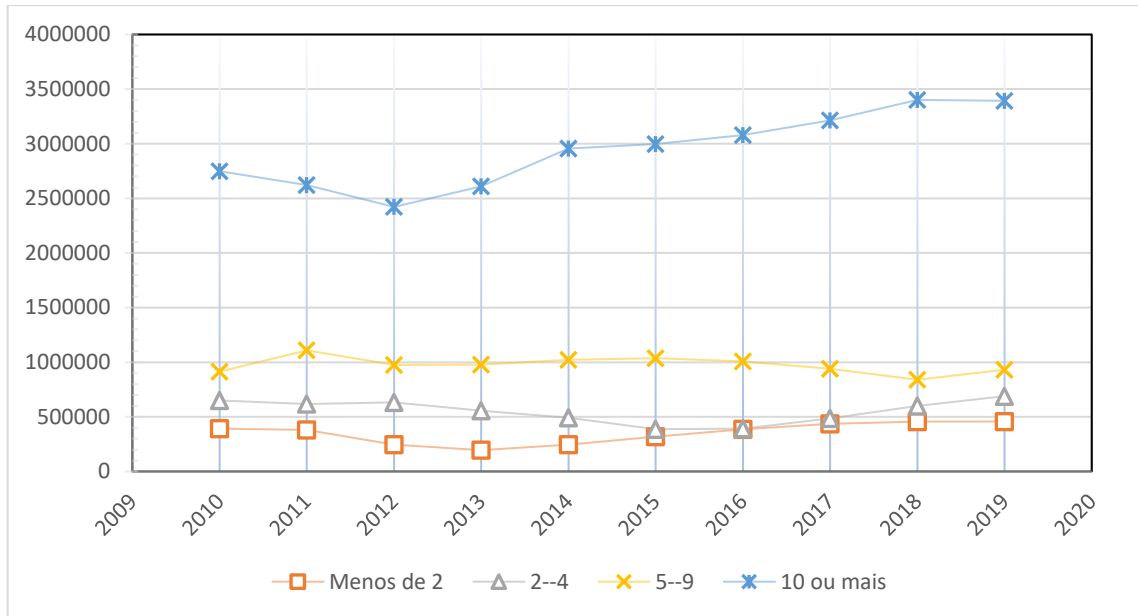


**Gráfico 23-Infrações rodoviárias em 2019. (ANSR, 2019).**

Quanto às infrações rodoviárias estas não apresentam a mesma evolução que os crimes rodoviários, enquanto o crime rodoviário tem um decréscimo de 4,4% entre 2018 e 2019, segundo os gráficos 22 e 23 as infrações tiveram um crescimento de 18,1% no mesmo período.

A infração mais praticada tanto em 2018 como 2019, foi o excesso de velocidade, com 624254 e 661799 casos respetivamente, seguida do “Outros” que engloba más praticas do código da estrada como estacionamento errado, o não uso de piscas e também o uso de veículos com falhas em aspetos de segurança necessários para a circulação, aspetos e praticas estes que resultaram em 441399 casos em 2018 e em 573295 casos em 2019 (ANSR, 2019).

## 2.14. Fatores Mecânicos (do veículo)



**Gráfico 24-Número de veículos motorizados de passageiros por idade do veículo. (Pordata, 2021).**

**Tabela 5-Número de veículos motorizados de passageiros por idade do veículo. (Pordata, 2021).**

Anos	Nº de veículos motorizados de passageiros por idade do veículo				
	Total	Menos de 2	2--4	5--9	10 ou mais
2010	4707425	393271	650744	914306	2749104
2011	4727535	380119	617439	1108842	2621135
2012	4271104	244126	631197	974313	2421468
2013	4339589	195206	556216	978262	2609905
2014	4714586	245173	492186	1021593	2955633
2015	4737680	318470	387297	1035430	2996483
2016	4865079	387333	391939	1007291	3078516
2017	5074707	435900	485058	939568	3214181
2018	5298463	456429	600976	839755	3401303
2019	5469938	457096	689221	931090	3392531

Um fator que também influencia a maior ocorrência de acidentes rodoviários é a idade dos veículos do parque automóvel do país em análise, uma vez que as inovações no âmbito da segurança dos ocupantes são constantes.

#### 2.14.1. Inovações Volvo nos últimos 10 anos (Volvocars, 2021)

**2014 – Proteção das saídas de estrada**, funcionalidade de absorção de energia nos bancos, com vista a mitigar lesões na coluna;

**2016 – Segurança conectada**, utilização de uma Cloud para partilhar dados críticos entre veículos, alertando o condutor para secções do piso escorregadias ou automóveis que tenham acionado as suas luzes de perigo, e contribuindo assim para dar ao condutor tempo suficiente para abrandar;

**2018 – Oncoming Mitigation com travagem**, quando um veículo circula na faixa de sentido contrário e a colisão não puder ser evitada, o sistema ajuda a reduzir a velocidade do automóvel de forma a atenuar a força do embate;

**2020 – Limitação de velocidade**, limitação de uma velocidade máxima de 180 km/h todos os novos Volvo em 2020;

#### 2.14.2. Outras inovações na temática da segurança rodoviária.

**Life Cell da Autoliv**, existência de um airbag com a forma de um casulo que oferece proteção do passageiro em todas as direções menos a frontal, sendo este espaço complementado pelo *airbag* frontal (Autoliv, 2020).

**Torricelli Brake da Autoliv**, é uma plataforma de vácuo na zona inferior do veículo que em situação de travagem de emergência induz vácuo na estrada auxiliando a travagem, este sistema pode reduzir até 40% a distância de travagem do veículo (Autoliv, 2020).

Como observado no gráfico 24 e na tabela 5 o parque automóvel nacional apresenta um envelhecimento preocupante, resultando numa média de 12,8 anos por veículo a nível nacional em 2019, mais 1,3 anos que a média europeia segundo a ACEA, o que influencia negativamente o nível de segurança nas estradas.

## **2.15. Sistemas de Segurança**

Em 2018 apenas 40 países tinham como obrigatoriedade na construção de veículos a existência de 7 a 8 elementos prioritários de segurança standard/obrigatória, elementos standard nos termos dos países das Nações Unidas. No lado oposto existia por sua vez 124 países com 0 ou apenas 1 elemento de segurança standard termos dos países das Nações Unidas na construção de veículos (WHO, 2018).

Padrões prioritários de segurança dos veículos segundo os standards das Nações Unidas (WHO, 2018).

1-2: Proteção frontal e proteção contra impacto lateral (R94 e R95): certifica-se de que os carros resistem aos impactos de colisões frontais e laterais quando testados em determinadas velocidades. Esses regulamentos de resistência ao choque ajudam a proteger os ocupantes a suportar o impacto de colisões frontais e laterais.

3: Controle de estabilidade eletrônico (R140): evita derrapagens e perda de controle em casos de sobreviragem ou subviragem, e é um elemento eficaz na redução de colisões e salvamento de vidas, reduzindo assim tanto as lesões fatais como as graves.

4: Proteção frontal de peões (R127): utilização de para-choques mais macios e modificação das extremidades dianteiras dos veículos (por exemplo, remoção de estruturas rígidas desnecessariamente) que podem reduzir a gravidade de um impacto de peões com um carro.

5-6: Fixações dos cintos de segurança (R14 e R16): certifica-se de que os cintos de segurança são colocados nos veículos quando são fabricados e montados, certifica-se que os pontos de fixação dos cintos de segurança podem suportar o impacto sofrido durante uma colisão e que garantam aos passageiros a possibilidade de serem retirados com segurança dos seus assentos em caso de colisão.

7: Sistema de retenção para crianças (R129): certifica-se de que a cadeira para as crianças está colocada com o cinto de segurança de adulto e que os pontos de fixação ISOFIX para retenção das crianças estão assemblados de forma a fixar a cadeira.

8: Sistemas de travagem anti bloqueio em motos (R78): ajuda o motociclista a manter o controle durante uma situação de travagem de emergência e reduz a probabilidade de um acidente de trânsito e subsequentes lesões.

## 2.16. Tipologia de Rodovia

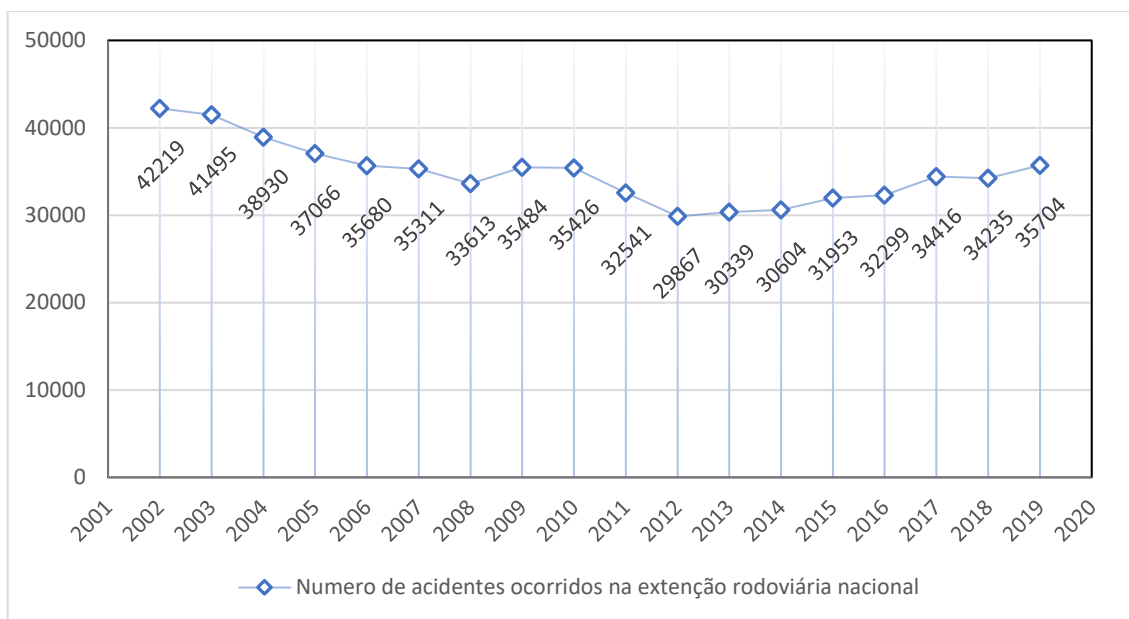


Gráfico 25- Número de acidentes ocorridos na extensão rodoviária nacional. (Pordata, 2021).

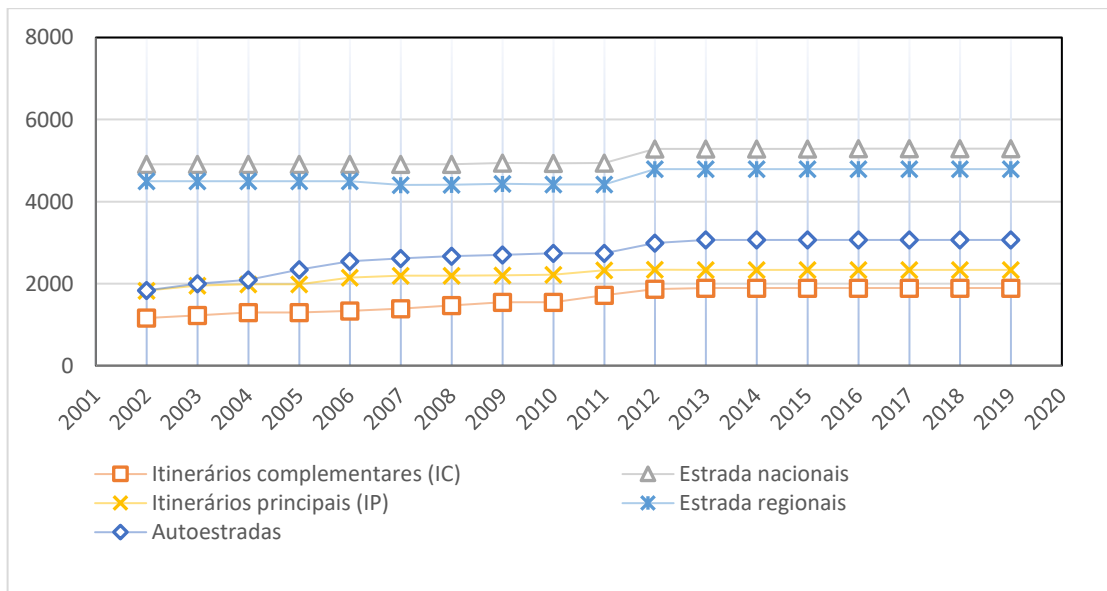
Tabela 6-Número de acidentes ocorridos na extensão rodoviária nacional por tipo de veículo. (Pordata, 2021).

Anos	Número de acidentes por tipologia de rodovia					
	Arruamento	Autoestrada	Estrada municipal	Estrada nacional	IP/IC	Outra via
2002	19280	1980	5308	12691	2139	821
2003	19420	2076	4651	12377	2068	703
2004	19187	1915	4251	11061	1738	778
2005	18463	2035	3875	1037	1561	762
2006	18224	2327	3685	9418	1299	727
2007	18204	2282	3848	9039	1149	789
2008	17792	2501	2862	8315	1063	108
2009	19018	2886	2742	8620	1288	930
2010	19741	2934	2486	8191	1321	753
2011	19086	2272	2077	7324	1134	648
2012	17865	1747	1788	6719	101	738
2013	18061	1824	1704	6807	1045	898
2014	1759	1879	1588	7369	1082	1096
2015	19279	1714	1635	6746	1038	1541
2016	20007	1947	1762	6564	1099	920
2017	20802	1921	2238	7087	1191	1177
2018	21268	2156	1765	6574	1298	1174
2019	22794	2146	1334	6372	1229	1829

Os valores da sinistralidade nacional numa análise a 20 anos são positivos. Mas se forem observadas as tendências recentes é perceptível que a perspetiva futura é de crescimento dos acidentes nas vias publicas como é observado no gráfico 25 e na tabela 6. Embora os valores de sinistralidade tenham crescido em todos os tipos de vias exceto as estradas nacionais e as IP/IC, as que mais contribuíram para esta subida das ocorrências de acidentes com e entre viaturas são as autoestradas e os arruamentos com um crescimento entre 2002 e 2019 de 108% e de 118 % respetivamente (PORDATA, 2021).



**Gráfico 26-Extensão total da rede nacional rodoviária. (Pordata, 2021).**



**Gráfico 27-Decomposição da extensão da rede nacional rodoviária. (Pordata, 2021).**

**Tabela 7-Tabela com a extensão em quilómetros de cada tipo de via. (Pordata, 2021).**

Anos	Extensão da rede rodoviária nacional (km)				
	Itinerários principais (IP)	Itinerários complementares (IC)	Estrada nacionais	Estrada regionais	Autoestradas
2002	1829	1161	4909	4500	1836
2003	1949	1229	4910	4500	2002
2004	1985	1294	4910	4500	2091
2005	1985	1294	4909	4500	2341
2006	2145	1336	4909	4500	2545
2007	2198	1387	4911	4406	2613
2008	2197	1470	4914	4409	2673
2009	2199	1543	4939	4431	2705
2010	2221	1550	4932	4420	2737
2011	2330	1717	4945	4420	2737
2012	2340	1865	5288	4791	2988
2013	2337	1893	5288	4791	3065
2014	2337	1893	5288	4791	3065
2015	2337	1893	5288	4791	3065
2016	2337	1893	5291	4791	3065
2017	2337	1893	5291	4791	3065
2018	2337	1893	5291	4791	3065
2019	2337	1893	5291	4791	3065

Mesmo com o aumento da extensão da rede nacional de vias de circulação comprovado pelos números apresentados nos gráficos 26, 27 e na tabela 7, não houve um benefício para a diminuição das ocorrências de acidentes.

Comparando os dados das ocorrências de acidentes entre 2009 e 2019 e o aumento da extensão de via no mesmo período temporal conclui-se que o aumento de via, e consequentemente o maior alívio de tráfego, não surtiu qualquer benefício para o decréscimo de acidentes, mas sim num aumento dos mesmos.

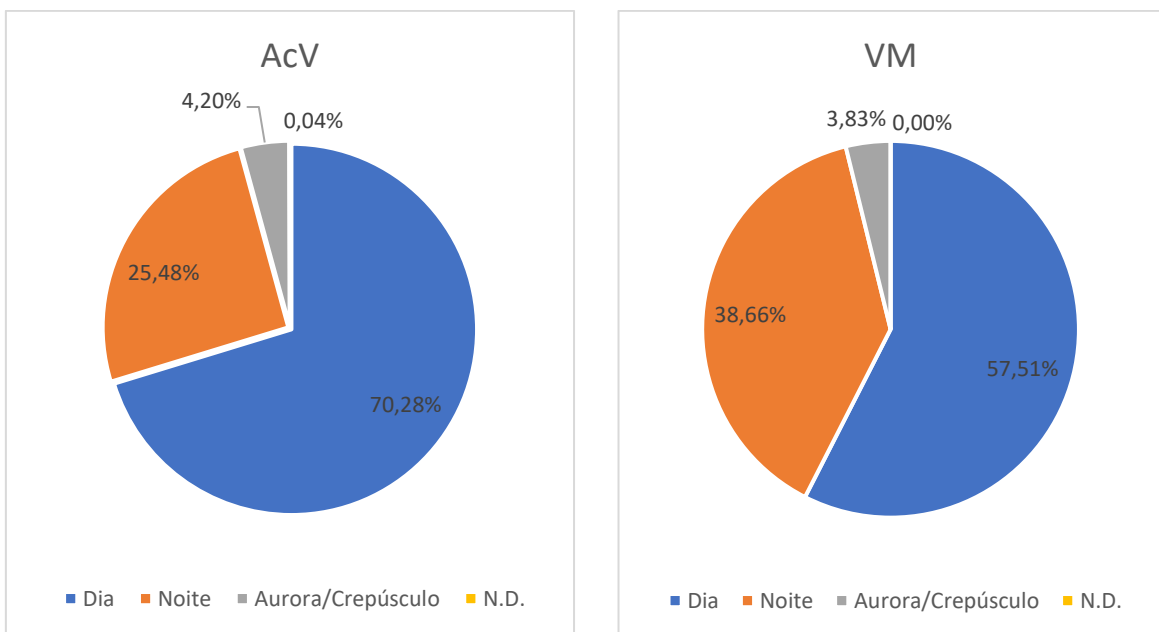
## 2.17. Fatores Ambientais

### 2.17.1. Iluminação

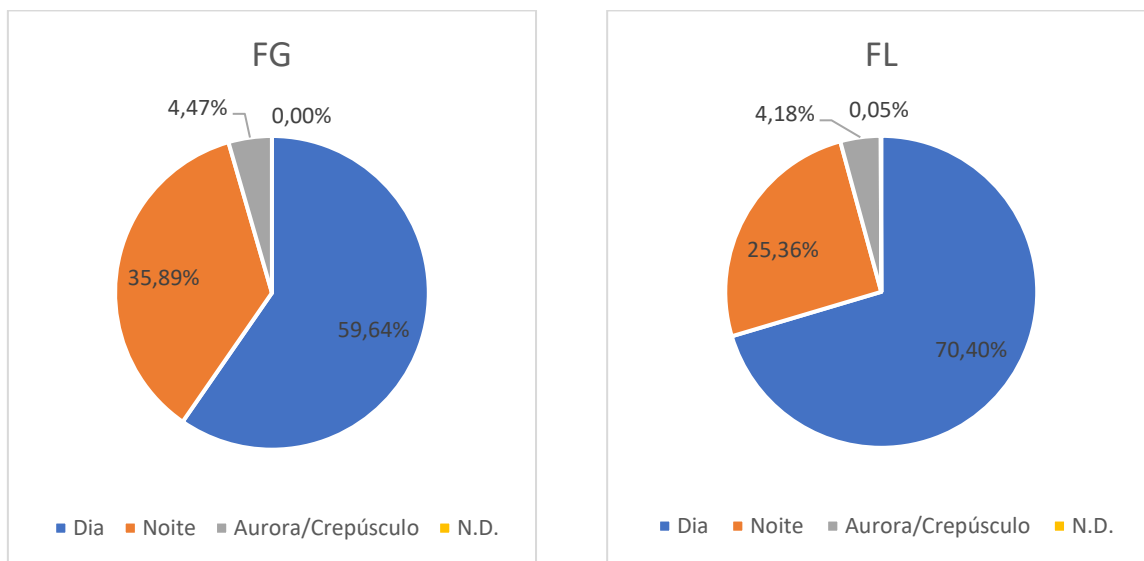
O número de fatores ambientais que podem influenciar a condução de um condutor são diversos, mas existem alguns como a iluminação da via, as condições climatéricas e o período horário que são fatores que mais influenciam nesta categoria de fatores.

**Tabela 8-Número de ocorrências e de vítimas por tipo de luminosidade da via. (ANSR, 2019).**

Tipo de luminosidade natural	Acidente Viação		Vítima Mortal		Ferido Grave		Ferido ligeiro		Total de Feridos		Índice de Gravidade	
	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019
Dia	24722	25091	429	360	1312	1293	29840	30401	31581	32054	1,7	1,4
Noite	8607	9096	223	242	631	778	10420	10953	11274	11973	2,6	2,7
Aurora/Crepúsculo	906	1501	23	24	52	97	1075	1806	1150	1927	2,5	1,6
N.D.	0	16	0	0	0	0	0	23	0	23	0	0
<b>Total</b>	<b>34235</b>	<b>35704</b>	<b>675</b>	<b>626</b>	<b>1995</b>	<b>2168</b>	<b>41335</b>	<b>43183</b>	<b>44005</b>	<b>45977</b>	<b>2</b>	<b>1,8</b>



**Gráfico 28-Gráfico percentual dos acidentes com vítima (AcV) e das vítimas mortais (VM) em 2019 consoante a iluminação. (ANSR, 2019).**



**Gráfico 29-Gráfico percentual dos Feridos graves (FG) e dos Feridos ligeiros (FL) em 2019 consoante a iluminação. (ANSR, 2019).**

Pelo gráfico 28 e 29 e pela tabela 8 é possível afirmar que a iluminação do ambiente envolvente e consequentemente da via tem elevada influencia na ocorrência de acidentes de viação e no indicador de gravidade dos mesmos, retira-se do gráfico AcV que 70,28% de todos os acidentes ocorridos em 2019 aconteceram em plena luz do dia o que é compreensível pois é a altura de maior circulação de veículos. Mas apenas 57,51% das mortes ocorreram durante o dia o que evidencia as diferenças entre os valores de indicador de gravidade, de 2,7 IG na circulação durante a noite contra 1,4 IG na circulação durante o dia.

Embora os acidentes rodoviários noturnos tenham por tendência um maior indicador de gravidade, durante o período diurno ocorrem mais acidentes e por consequência mais feridos ligeiros, feridos graves e mortos.

Conclui-se então pela análise feita que na circulação durante o período noturno e mesmo no período Aurora/crepúsculo existe uma menor probabilidade de ocorrência de acidentes, mas uma maior probabilidade de lesão ou morte.

## 2.17.2. Hora do Dia

Tabela 9-Número de ocorrências e de vítimas em cada hora do dia. (ANSR, 2019).

Horas do dia	Acidente Viação		Vítima Mortal		Ferido Grave		Ferido Ligeiro		Total de Feridos		Índice de Gravidade	
	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019
00h-03h	1269	1323	54	42	123	138	1581	1596	1758	1776	4,3	3,2
03h-06h	764	752	27	24	74	89	939	888	1040	1001	3,5	3,2
06h-09h	3863	3983	93	54	216	210	4563	4774	4872	5038	2,4	1,4
09h-12h	5580	3793	94	81	255	268	6603	6812	6952	7161	1,7	1,4
12h-15h	6004	6308	98	75	294	307	7181	7684	7573	8066	1,6	1,2
15h-18h	6971	7437	119	135	424	423	8691	9211	9234	9769	1,7	1,8
18h-21h	6887	7151	134	141	387	467	8249	8599	8770	9207	1,9	2
21h-24h	2887	2957	56	74	222	266	3528	3619	3806	3959	1,9	2,5
Total	34225	33704	675	626	1995	2168	41335	43183	44005	45977	2	1,8

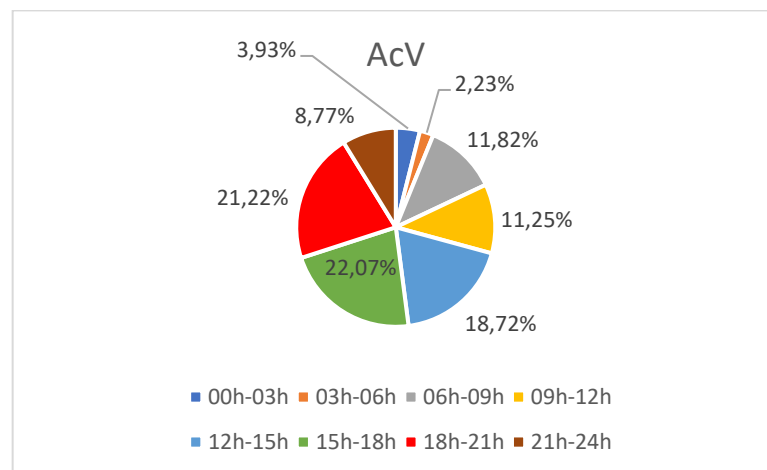


Gráfico 30-Percentagem de ocorrências de acidentes rodoviários por período horário. (ANSR, 2019).

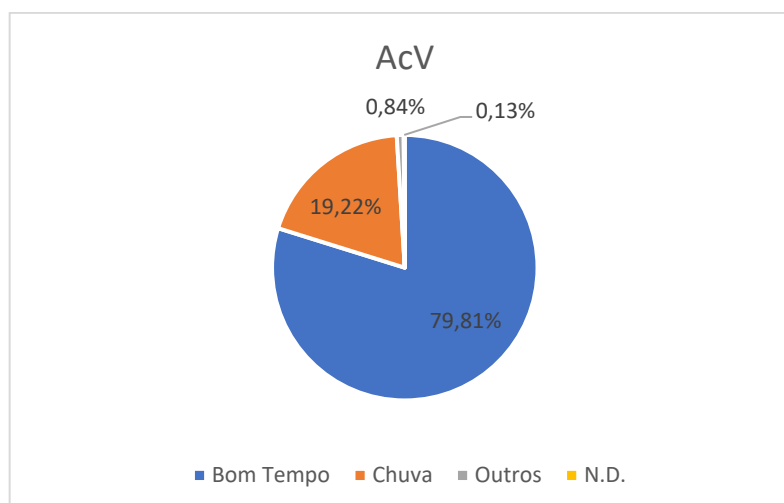
A influência da hora de circulação é um pouco influenciada pelo fator da iluminação, mas também pelos níveis de tráfego existentes.

Durante o período diurno, 6h-21h, existem horas de maior ocorrência de acidentes de viação e é nesse período horário mais precisamente entre as 15 horas e as 21 horas que coincide com o horário da saída do emprego de muitos indivíduos que utilizam a rodovia para se deslocar para as suas habitações. Neste período, no horário de deslocação trabalho-casa, existem mais acidentes que no período da manhã, no horário de deslocação casa-trabalho, isto deve-se ao facto que no fim do dia os utilizadores da via apresentam um maior nível de cansaço e estão mais propensos a conduzir infringindo a lei em questões de consumo de álcool, utilização de telemóvel, etc.

### 2.17.3. Condições Climáticas

**Tabela 10-Número de ocorrências e de vítimas de acordo com cada tipo de condição climática na via. (ANSR, 2019).**

Anos	Acidente Viação		Vítima Mortal		Ferido Grave		Ferido Ligeiro		Total de Feridos		Índice de Gravidade	
	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019
Bom Tempo	27218	28495	554	537	1699	1842	32640	34246	34893	36625	2	1,9
Chuva	6670	6863	109	83	276	290	8252	8475	8637	8848	1,6	1,2
Outros	292	299	11	6	18	36	384	401	413	443	3,8	2
N.D.	55	47	1	0	2	0	59	61	62	61	1,8	0
<b>Total</b>	<b>34235</b>	<b>35704</b>	<b>675</b>	<b>626</b>	<b>1995</b>	<b>2168</b>	<b>41335</b>	<b>43183</b>	<b>44005</b>	<b>45977</b>	<b>2</b>	<b>1,8</b>



**Gráfico 31-Percentagem de ocorrência de acidentes por estado climático. (ANSR, 2019).**

As condições climáticas em que se circula na via também influenciam a maior ou menor probabilidade de ocorrência de acidentes. No gráfico 31 conclui-se que a maior quantidade de acidentes ocorre com bom tempo, 79,81%. Contudo, como referido nos outros fatores ambientais, isto acontece devido ao facto dos condutores circularem num país com um clima ameno e circularem mais em época de bom tempo.

É observável também que em condições de chuva, propício à maior ocorrência de acidentes, o indicador de gravidade é menor que em condições de bom tempo, 1,6 IG e 2 IG correspondente, o que leva a concluir que os condutores tendem a optar por uma condução mais segura em condições de chuva.

Já a condução em condições “outros” que engloba a condução em neve, nevoeiro e gelo tem um indicador de gravidade muito elevado, de 3,8. Este valor torna-se tão elevado devido a estas condições climatéricas eliminarem parcialmente e por vezes totalmente o controlo do condutor sobre o veículo, resultando em 2019 de acordo com a tabela 10 em 299 acidentes, nas condições climatéricas caracterizadas por “outros”, dos quais resultaram 6 mortos, 36 feridos graves e 401 feridos ligeiros.

## **2.18. Cálculo dos Prejuízos dos Acidentes Rodoviários País**

A sinistralidade rodoviária foi e será sempre uma ocorrência nas estradas nacionais. Impossível de eliminar por completo, mesmos que os seus utilizadores respeitem e cumpram as regras presentes no código da estrada e ajam de forma civilizada, existem fenómenos externos, conjugados com a ação e comportamento humano que podem causar acidentes como é o caso de fenómenos naturais, ação de terceiros (animais selvagens na via) ou simplesmente casualidades como um furo no pneu.

Mas existem aspetos originadores de acidentes que podem ser combatidos, uma das formas de prevenir o crescimento dos acidentes rodoviários que são causados pela má conduta dos condutores é através da sensibilização da população para a temática, um exemplo é o uso de campanhas. Estas campanhas têm, além do intuito de diminuir o número de mortes e feridos nas estradas, tem também o objetivo de gerar menos custos resultantes dos acidentes rodoviários. Para isso é necessário ter o conhecimento dos custos dos acidentes rodoviários de forma a estes serem analisados posteriormente, o que permitirá a concretização de políticas que levem à sua minimização, a fim de contribuir para a maximização do bem-estar social (Alrukaibi, F. e Alotaibi, N. e Almutairi, M., 2015).

Estima-se que em todo o mundo, os acidentes rodoviários tenham um custo anual de 425 mil milhões de euros (ANSR, 2019).

Os custos sociais e económicos dos acidentes rodoviários podem ser classificados em: custos patrimoniais ou em custos morais/não patrimoniais, sendo que custos patrimoniais podem ser subdivididos em diretos e indiretos (Donário, A. e Santos, R., 2012).

### **2.18.1. Custos patrimoniais diretos:**

- Prejuízos materiais privados e públicos;
- Custos com eventuais funerais das vítimas;
- Custos com o socorro das vítimas e transporte para o hospital;
- Custos hospitalares dos tratamentos das vítimas;
- Custos de peritagens de acidentes.

### 2.18.2. Custos patrimoniais indiretos

- Valor resultante da falha de produção temporária ou permanente das vítimas do acidente;
- Custos de segurança e prevenção rodoviária;
- Custo dos tribunais;
- Custos provenientes de coimas;
- Custos das seguradoras;
- Custos ambientais.

### 2.18.3. Custos morais/ não patrimoniais:

- Sofrimento psicológicos das vítimas;
- Sofrimentos psicológicos de terceiros;
- Perda de vidas humanas.

## 2.19. Estimação do Custo Económico e Social dos Acidentes de Viação

É possível estimar estes custos através das seguintes 3 metodologias (Donário, A. e Santos, R. , 2012):

**a) Metodologia do Capital Humano** conhecido também por metodologia do Produto Interno Bruto, baseia-se no potencial contributo económico que o indivíduo interveniente no sinistro teria na sociedade. O fator que mais contribui para o valor do custo económico do acidente nesta metodologia é o produto potencial que o indivíduo, que fica temporariamente impossibilitado, permanentemente impossibilitado ou que morre, iria produzir o resto da sua vida profissional. A este fator acrescentam-se custos hospitalares, farmacêuticos, custos materiais privados (veículo, seguros, coimas, etc), custos públicos (estragos da via, equipamentos de sinalização, etc) e os custos com os danos morais/não patrimoniais (dor física e psicológica dos intervenientes diretos ao acidente e a terceiros) (Donário, A. e Santos, R. , 2012).

Este método tem por base o Produto Interno Bruto (PIB) *per capita do país onde ocorre*, com efeito os custos dos acidentes estimados por este método variam de país para país, sendo superiores nos países com PIB *per capita* superior.

**b) O método Willingness-to-Pay (WTP)** tem por base o montante monetário que o indivíduo estaria disposto a pagar para reduzir a probabilidade de ter um acidente e conseqüentemente morrer ou ficar ferido. Este método utilizado nos países como o Reino Unido, Suíça, Estados Unidos da América, Suécia e na Nova Zelândia apresenta em regra valores maiores que o método do Capital Humano, porque este método acrescenta aos seus cálculos, custos de impossibilidade de usufruir de atividades de lazer e valores de sofrimento físico e psicológico.

Este método é utilizado como aproximação para estimar custos atribuídos a bens não transacionáveis, e podem ser obtidos através de questionários à população (Donário, A. e Santos, R. , 2012).

**c) Método dos custos de restituição**

O método dos custos de restituição atribui os mesmos valores monetários ao acidente ocorrido que são atribuídos pelo tribunal e pelas seguradoras envolvidas. Estes valores são calculados através da soma dos valores das intervenções que tem de ser feitas de forma a corrigir os estragos materiais e não materiais resultantes do acidente rodoviário.

**Tabela 11-Custo unitário da sinistralidade rodoviária (ANSR e Handbook on the Extrenal Costs of Transport, 2019).**

Custo unitário da sinistralidade rodoviária, em euros			
	Custo por vítima mortal	Custo por ferido grave	Custo por ferido ligeiro
UE28(média)	3 273 910	498 591	38 514
Portugal	2 541 032	385 934	29 815

**Tabela 12-Custo total da sinistralidade rodoviária em Portugal (ANSR e Handbook on the Extrenal Costs of Transport, 2019).**

Custo total da sinistralidade rodoviária em Portugal			
	Vítimas mortais	Feridos Graves	Feridos Ligeiros
nº de vítimas	626	2 168	43 183
Custo total (milhões de euros)	1 590	836	1 287

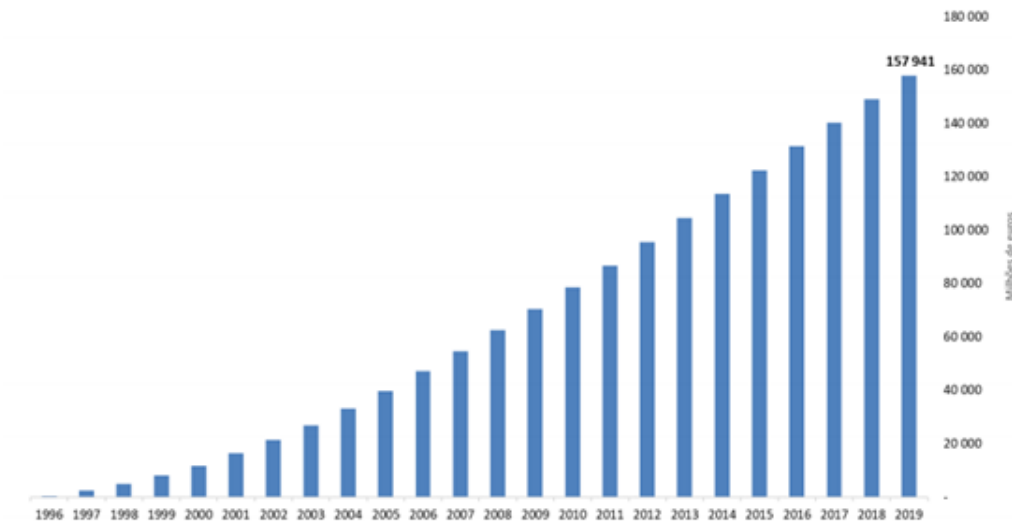
**Tabela 13-Tabela de custos com acidentes rodoviários (ANSR e Handbook on the Extrenal Costs of Transport, 2019).**

	PIB 219 (milhares)	População em 2019 (milhares)	Custo/PIB	Custo/Habitante
Vítima Mortal	213 949 285	10 286,30	0,7432%	154,57
Ferido Grave			0,3907%	81,27
Ferido Ligeiro			0,6015%	125,12
Custo Total			1,735%	360,97

De acordo com o Handbook on the Extrenal Costs of Transport e o relatório da ANSR sobre sinistralidade rodoviária nacional do ano 2019, o cálculo dos custos com a sinistralidade é obtido através do método do capital humano e através de dados e estatísticas da CARE. Através de valores obtidos nas fontes mencionadas foram construídas as tabelas 11, 12 e 13.

Na tabela 11 é observável que o custo médio unitário da sinistralidade rodoviária da média europeia dos 28 países é significativamente superior ao custo médio atribuído em acidentes com as mesmas características realizado em Portugal, sendo que na média europeia o custo por uma vítima mortal, ferido grave e ferido ligeiro acresce mais 732 878, 112 657 e 8 699 euros respetivamente em relação aos custos atribuídos em Portugal.

Em Portugal durante o ano de 2019 foram gastos cerca de 1 590 milhões com vítimas mortais, 836 milhões em feridos graves e 1 287 milhões em feridos ligeiros originados em acidentes rodoviários. Se estes custos tivessem de ser totalmente suportados pela nação seria necessário cerca de 1,735% do PIB nacional para cobrir a despesa. Em outro cenário imaginário se essa despesa com a sinistralidade fosse cobrada aos contribuintes portugueses iria recair uma despesa anual de 360,97 euros per capita.



**Figura 2-Custos acumulados evitados com a redução da sinistralidade entre 1995 e 2019, (ANSR, 2019).**

**Tabela 14-Número de vítimas salvas entre 1995 e 2019, (ANSR, 2019).**

	vítimas mortais salvas	feridos graves salvos	Feridos ligeiros salvos
nº de vítimas	25607	18751	687 264

Através do investimento na prevenção da sinistralidade rodoviária entre 1995 e 2019, usando os valores atribuídos por vítima de 2019, pode verificar-se com o auxílio da figura 2 que o custo económico da sinistralidade diminuiu cerca de 72%, o que em valores corresponde aproximadamente a 158 mil milhões de euros (ANSR, 2019). Para além da diminuição dos custos económicos a nível social, no período em análise, estima-se que tenham sido salvas quase 26 mil vidas e 706 015 feridos, estes valores estão apresentados na tabela 14.

### 3. Investigação do Cenário do Acidente

A reconstituição de acidentes é efetuada, quando as entidades competentes que avaliam primariamente as causas do acidente (PSP, GNR) não conseguem atribuir a causa ou o culpado desse evento. É pedida pelas seguradoras ou pelos tribunais a realização de uma reconstituição virtual do acidente. Essa reconstituição no fim de realizada e validade pode ser usada nos tribunais e seguradoras para atribuir despesas e coimas aos indivíduos responsáveis.

O responsável pela realização das reconstruções após ser solicitado para a realização de uma reconstrução as suas opiniões sobre o sucedido partem apenas de factos objetivos, normalmente colhidos no sítio do acidente, e pelos depoimentos das partes envolvidas e de testemunhas.

Durante a pesquisa do acidente existe muita informação sobre a cena do acidente que é essencial para a reconstrução que normalmente é colhida nos croquis realizados pelos policias.

Se não existir nenhum croqui do acidente disponível, os seguintes paramentos devem ser recolhidos (.Strubel e D.Struble ,2013):

- Hora e local do acidente;
  - Dados das pessoas envolvidas, testemunhas e proprietários dos veículos:
- Idade;
  - Género;
  - Peso;
  - Estatura corporal;
  - Lesões;
  - Taxas de álcool/drogas nos indivíduos envolvidos;
- Tipo de acidente;
  - Condições e tipo de pavimento;
  - Clima/Tempo;
  - Marcas de derrapagens;
  - Marcas de guinadas;
  - Marcas de contacto do veículo com outros objetos;
  - Localização de partes do veículo;

- Localização dos passageiros e indivíduos envolvidos no acidente;
- Posição final dos veículos;
- Deformações;
- Sistemas passivos de segurança (airbag, cintos de segurança);
- Fotos;
- Dados eletrônicos do veículo;

Documentação por fotos é um meio importantíssimo na reconstrução de um acidente, quanto mais complexo foi o acidente maior será o número de fotos necessárias. Tal deve-se ao facto de muitos vestígios do acidente poderem desaparecer passado pouco tempo do acidente como pessoas, partes do veículo e a movimentação de veículos da sua posição final para resgate de pessoas ou para a circulação do tráfego. Por estas razões é que a fotografia é tão importante na documentação de um acidente rodoviário, a fotografia pode ainda ser usada como ferramenta de medição quando na foto são introduzidas escalas.

### **3.1. Medição em Acidentes Rodoviários.**

Na realização da simulação do acidente é indispensável que todo o cenário do acidente esteja à escala com o acidente real. Para isto seja possível além das fotografias com elementos de escala existem outros métodos e dispositivos para obter medições reais de todos os pontos e distâncias que caracterizam o acidente. Existem vários dispositivos para tal. Os equipamentos standard ou recomendados são (Burg e Moser, 2014):

- Fita métrica;
- Roda de medição;
- Fotogrametria 2D;
- Fotogrametria 3D;
- Laser de medição;
- Scanner 3D;
- No futuro próximo da reconstrução de acidentes estima-se que também se use imagens de GPS ou Galileo.

Alguns dos métodos/formas de realizar medições de um acidente rodoviário são (Burg e Moser. 2014):

- Método Right Angle;
- Método da medição Triangular;
- Método Chord/Height;
- Método Total Station.

### 3.2. Medições de coordenadas com o método Right Angle

Este método de medição é apenas aplicado quando os pontos a medir têm como referência uma linha reta, como um passeio, um muro, a parede de uma casa, etc.

Na medição da posição final do veículo, os pontos que são medidos do veículo relativamente à linha reta de referência são os eixos da face exterior das rodas, pois são o melhor ponto para definir a posição do veículo embora quando possível além destes pontos podem ser adicionados medições dos “cantos” do veículo.

Este método de medição está exemplificado na figura 3 o que torna mais fácil a compreensão da forma de aplicação do método.

Alguns erros podem ocorrer na obtenção de medições com este método quando a linha de referência não forma um ângulo reto com a linha que mede a distância entre a linha de referência e a face da roda do veículo (Burg e Moser. 2014).

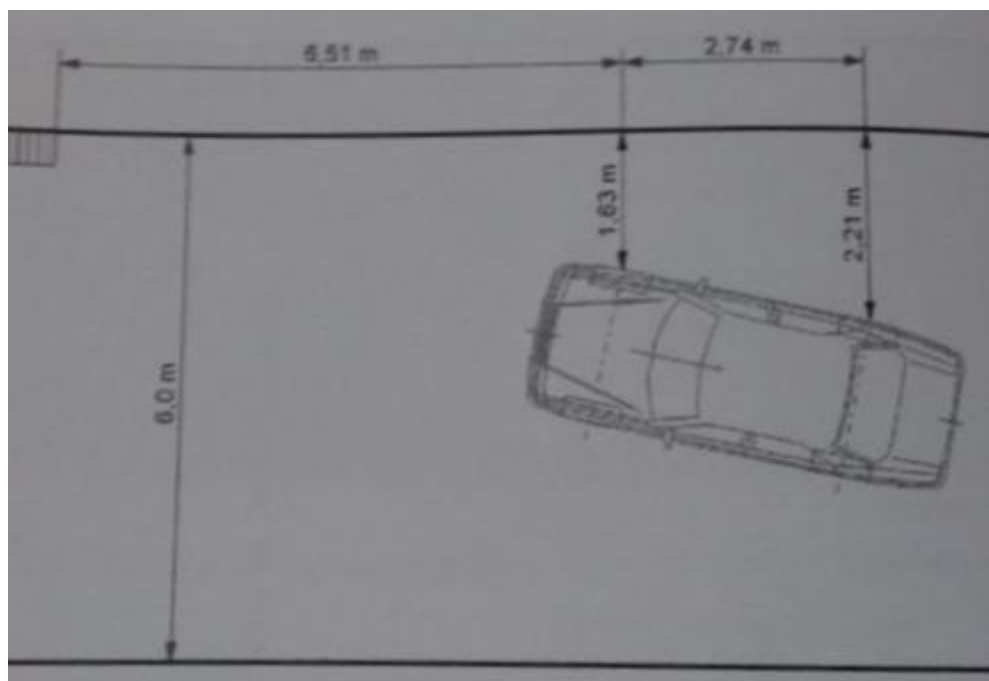


Figura 3-Exemplo de medição através do método Right Angle, (Accident Reconstruction Fundamentals, 1999).



### 3.4. Medições de coordenadas com o método Chord/Height

Este método de medição em semelhança ao método triangular é usado para medição de curvas, mais precisamente de raios. A medição do raio é obtida através de uma fórmula matemática com inputs das medidas H e S representadas na figura ilustrativa número 6.

Após a medição das incógnitas H e S o raio é obtido através da fórmula número 2 (Burg e Moser. 2014).

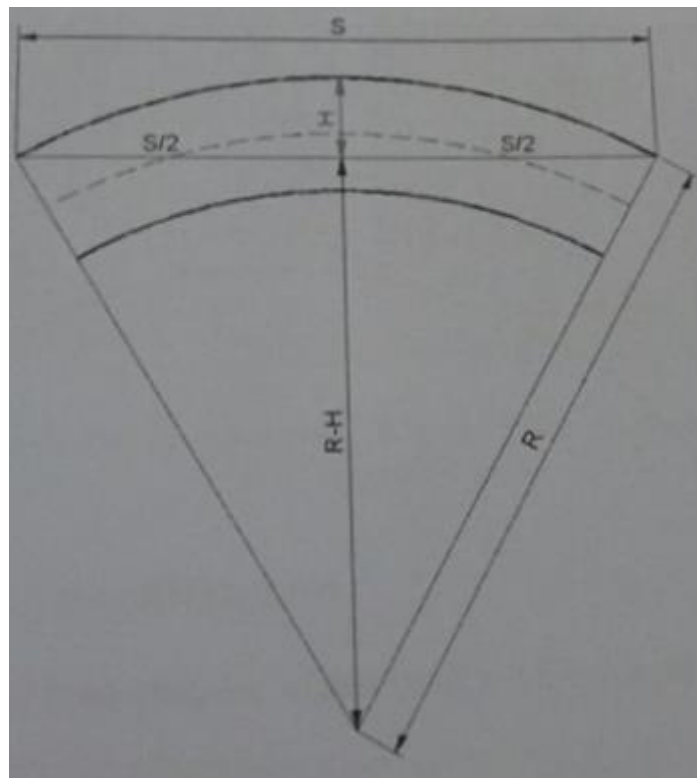


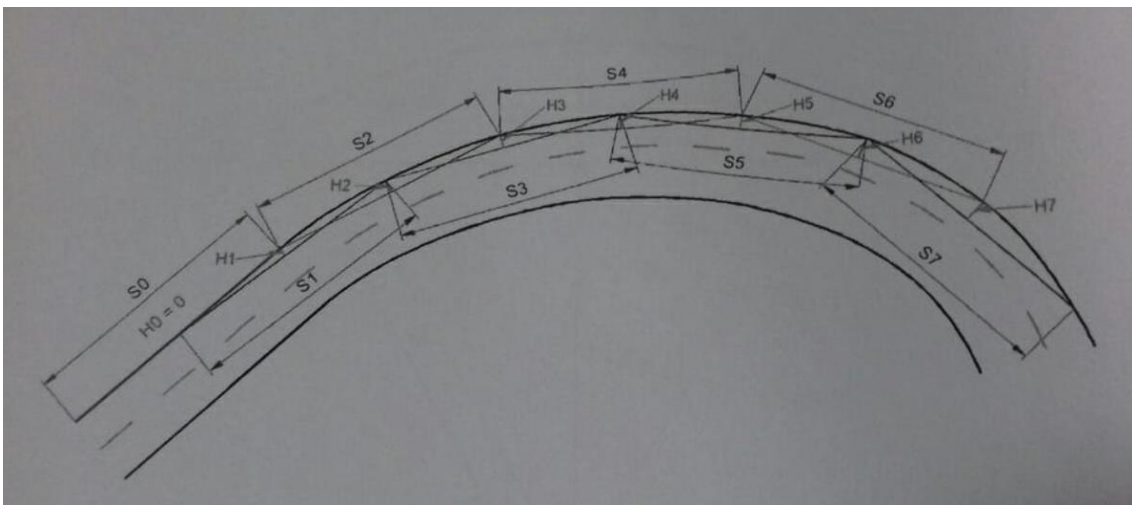
Figura 6-Exemplo de medição através do método chord/height, (Accident Reconstruction Fundamentals, 1999).

$$R^2 = (R - H)^2 + \left(\frac{S}{2}\right)^2 \quad (1)$$

$$R = \frac{s^2 + 4 \cdot H^2}{8 \cdot H} \quad (2)$$

Em situações em que a curva em análise tem uma variabilidade de raios, o processo para medição de curvas de apenas um raio deve ser replicado ao longo da curvatura da curva. Neste caso para evitar erros de medição a primeira medição de H, H0, deve ser igual a 0 (troço de reta por exemplo antes do início da curva, onde não existe curvatura). Este H0 assim como todas as incógnitas de H são medições que formam um ângulo reto com a incógnita S e parte sempre do ponto médio de S.

Na seguinte medição de S após S0, S1, deve partir do ponto médio de S0 e assim seguindo como é demonstrado na figura 7 (Burg e Moser. 2014).



**Figura 7-Exemplo de medição de um via de rodagem através do método Chord/Height, (Accident Reconstruction Fundamentals, 1999).**

### 3.5. Medições de coordenadas com o método Total Station

Total Station é um instrumento de medição laser precisa que é usado para mapear locais de acidentes rodoviários ou danos em veículos. O instrumento Total Station é fixo em um tripé para conferir estabilidade à medição, e a partir de um ponto estratégico são retiradas fotografias a pontos de interesse como marcações de faixas, localizações de sinais, declives, edifícios ou outras características da estrada. Além disso, as evidências físicas do acidente como marcas de pneus e danos nos veículos intervenientes podem ser medidas e analisadas.

As informações obtidas em campo a partir de levantamentos com uma Total Station podem ser rapidamente transferidas para um computador para gerar diagramas e desenhos precisos bidimensionais ou tridimensionais. As medições tridimensionais também podem ser usadas em programas de animação ou simulação.

A maioria das Total Station pode medir distâncias com uma precisão de cerca de 1,5 milímetros, sendo esta uma precisão muito maior do que a obtida através de um GPS (Engineersupply, 2022).



Figura 8-Exemplo de uma Total Station.

### 3.6. Reconstrução de Acidentes Automóveis

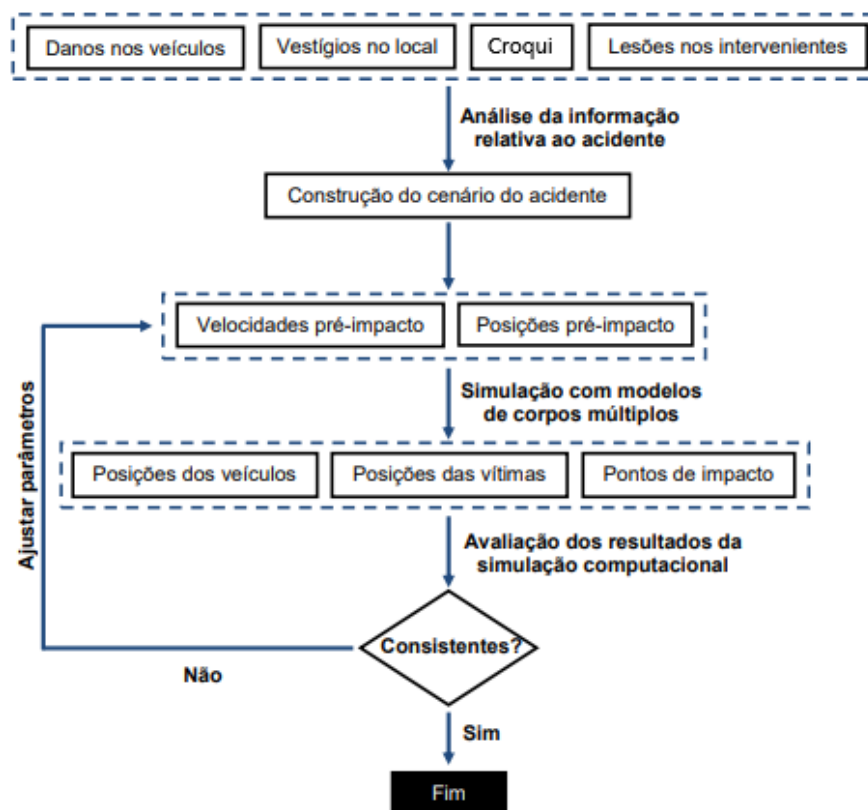


Figura 9-Fluxograma das etapas do processo aplicado na reconstituição dos acidentes reais. Adaptado de: (Bernardo, D., 2012).

### 3.6.1. Elaboração do Croqui

Para a elaboração de uma reconstrução/simulação de um acidente rodoviário é fundamental ter conhecimento dos 4 primeiros parâmetros apresentados no fluxograma: danos nos veículos, vestígios no local, lesões nos intervenientes e o croqui. A elaboração do croqui, verifica-se, portanto, fundamental.

O croqui de um acidente rodoviário é um desenho/mapeamento do local do acidente e de todos os intervenientes do acidente com informações relativas a eles como sentido e direção dos veículos, posições de repouso dos veículos, o ponto de impacto e as distâncias de travagem. As construções de croquis de acidentes rodoviários não têm de ser apresentadas à escala nem respeitar as regras de desenho técnico, mas na sua elaboração não devem ser introduzidas informações erradas ou duvidosas pois estas põem em causa a fiabilidade do croqui e posteriormente a reconstituição do acidente (Bernardo, D., 2012).

Atualmente, existem três formas de construir um croqui:

- 1º- Realizar o croqui à mão no local com ilustrações de pontos de referência como postes de sinalização, rotundas, etc e com as medições obtidas no local.
- 2º- Realizar um croqui com o auxílio computacional através de programas como Microsoft Visio tendo por base o croqui feito à mão.
- 3º- Realizar um croqui à escala em computador com informação disponibilizada pelo Total Station ou com o auxílio de uma imagem aérea real do local através de um programa de mapas como Google Maps ou Google Earth, e introduzir nessas imagens as informações retiradas do local do acidente e dos seus intervenientes.

A reconstituição de acidentes rodoviários é realizada principalmente com o uso de modelos computacionais. Existem diversos softwares no mercado para a simulação de eventos deste género, mas ao contrário do senso comum estes softwares não mostram o que aconteceu no acidente, mas sim o que podia acontecer com certas condições de inputs. Alguns desses programas são o CRASH (Calspan Reconstruction of Accident Speeds on the Highway), Virtual Crash, REC-TEC o PC-Crash, entre outros (Burg e Moser, 2014).

Estes softwares permitem que o utilizador crie, com base no croqui, fornecido pelas autoridades competentes, um cenário idêntico ao do acidente, com a via, obstáculos, passeios, marcações horizontais, entre outros. Permitem ainda, a importação de versões computacionais dos veículos envolvidos no acidente para obter as mesmas características do evento com o objetivo de obter o cenário mais fidedigno possível da realidade, valores de velocidades, deformações, posições dos veículos e lesões dos envolvidos.

O estudo de eventos em que haja interesse no comportamento do corpo humano implica a utilização de modelos Multicorpos. Os modelos Multicorpos são modelos computacionais mais complexos que os modelos de corpos rígidos que são usados em estudos em que não existe a temática de estudo do comportamento do corpo humano.

A reconstituição baseada na aplicação de modelos Corpos Rígidos é realizada com base numa análise dinâmica direta da evolução temporal das trajetórias dos veículos intervenientes. Pequenos ajustes de alguns parâmetros físicos que caracterizam a colisão e as condições dinâmicas que condicionam os movimentos pré e pós colisão são muitas vezes necessários para obter a trajetória e as deformações que ocorreram no acidente.

Esses ajustes são efetuados com a aplicação de um método iterativo de otimização que parte das posições finais dos veículos e otimiza as trajetórias e velocidades iniciais com um erro que se encontra dentro de um limite predefinido, tendo também em conta as deformações visíveis nos veículos. Os modelos utilizados para otimizar as trajetórias e velocidades iniciais, permitem uma estimativa das condições iniciais com um erro aceitável. O valor do erro permitido é escolhido pelo utilizador do programa, utilizando-se como referência o valor de 10% (Strubel,D. e Struble,J. , 2013). Após a refinação das condições e otimização dos resultados, é possível consultar as velocidades iniciais, obter energias de deformação, verificar trajetórias, etc.

Os modelos de Corpos Rígidos são também vantajosos em termos computacionais, pois não exigem um nível de processamento de cálculo tão elevado como os modelos Multicorpos. Por esta razão as simulações são efetuadas num espaço de tempo inferior.

## 4. Cálculo de Impactos

### 4.1. Mecânica dos Corpos Rígidos

#### **Sistema de Coordenadas**

O veículo é definido como um corpo rígido que se move sob a influência de forças externas. Para simplificar o processo da definição geométrica, podem ser usados os seguintes tipos de sistemas de coordenadas (Strubel,D. e Struble,J. , 2013).

- 1º-Sistema de coordenadas global  $x_i$ , onde a origem do sistema global  $x_i$ , está no centro da tela de simulação do computador.
- 2º- Sistema de coordenadas  $x'_i$  que está conectado ao veículo, onde o centro de gravidade do veículo define a origem do sistema de coordenadas do veículo  $x'_i$ .
- 3º- Sistema  $x''_i$  para cada uma das rodas do veículo, onde o ponto de contato entre o pneu e a superfície da estrada define a origem do sistema de coordenadas  $x''_i$  para cada pneu. A superfície da estrada pode ser definida pelo plano x-y global ou por polígonos planos individuais.

Uma reconstituição é feita com base na Física e nas leis que a constituem, e como tal, é importante falar sobre alguns conceitos físicos aplicados a um corpo rígido. Os conceitos da Física abordados são a Cinemática, a Dinâmica e a Energia. A Dinâmica, ciência que estuda as causas do movimento, através da aplicação das leis de Newton, permite compreender o comportamento estático e dinâmico dos veículos (Burg e Moser. 2014).

#### 4.1.1. Conservação do Momento

Princípio fundamental da Dinâmica, diz que a força resultante aplicada num corpo é igual à taxa de variação temporal do seu momento linear ( $p^{\vec{}}$ ), que consiste no produto entre a massa e o vetor velocidade sendo que a massa é uma quantidade escalar e é independente do sistema de coordenadas usado (Strubel,D. e Struble,J. , 2013).

$$p = m \cdot v \quad (3)$$

No que diz respeito à conservação do momento, o momento linear do sistema formado pelos corpos A e B é igual a:

$$\begin{matrix} p_A = m_A \cdot v_A \\ p_B = m_B \cdot v_B \end{matrix} \rightarrow \begin{pmatrix} p_A \\ p_B \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} m_A & \\ & m_B \end{bmatrix} \begin{pmatrix} v_A \\ v_B \end{pmatrix} \rightarrow p = M \cdot \dot{\theta} \quad (4)$$

O que implica que a variação do momento linear seja igual a:

$$\Delta p = M \cdot \Delta \dot{\theta} \quad (5)$$

Pela 3ª Lei de Newton, diz-se que numa colisão entre dois corpos A e B as forças exercidas entre os corpos têm a mesma magnitude e direção, mas sentidos opostos tal como os impulsos destas forças, sendo o impulso uma variação de uma força F num corpo durante um intervalo.

$$F^{\vec{}} = m \cdot a = \frac{dp^{\vec{}}}{dt} = m \cdot \frac{d(v^{\vec{}})}{dt} \quad (6)$$

Da equação 6 é obtida a equação do Impulso I.

$$I = \int_{t_1}^{t_2} F dt \quad (7)$$

$$I = \int_{t_1}^{t_2} F dt = \int_{v_1}^{v_2} m dv = m \cdot v_2 - m \cdot v_1 \quad (8)$$

Uma vez que não sejam aplicadas forças externas ao sistema, as forças impulsivas aplicadas no impacto são internas, logo existe conservação do momento. Sendo P o somatório dos momentos, a conservação do momento no impacto entre um corpo A e um corpo B é igual a:

$$\Delta P = m_A \cdot \Delta v_A + m_B \cdot \Delta v_B = 0 \quad (9)$$

$$\begin{aligned} m_{A \text{ final}} \cdot \Delta v_{A \text{ final}} + m_{B \text{ final}} \cdot \Delta v_{B \text{ final}} \\ = m_{A \text{ inicial}} \cdot \Delta v_{A \text{ inicial}} + m_{B \text{ inicial}} \cdot \Delta v_{B \text{ inicial}} \end{aligned} \quad (10)$$

Na análise do impacto entre os veículos A e B é possível a determinação dos parâmetros pós-impacto partindo da definição das condições pré-impacto e dos valores das massas dos respetivos veículos.

Estes conceitos podem ser consolidados com a análise dos exercícios seguintes.

#### 4.1.2. Exercício Académico 1

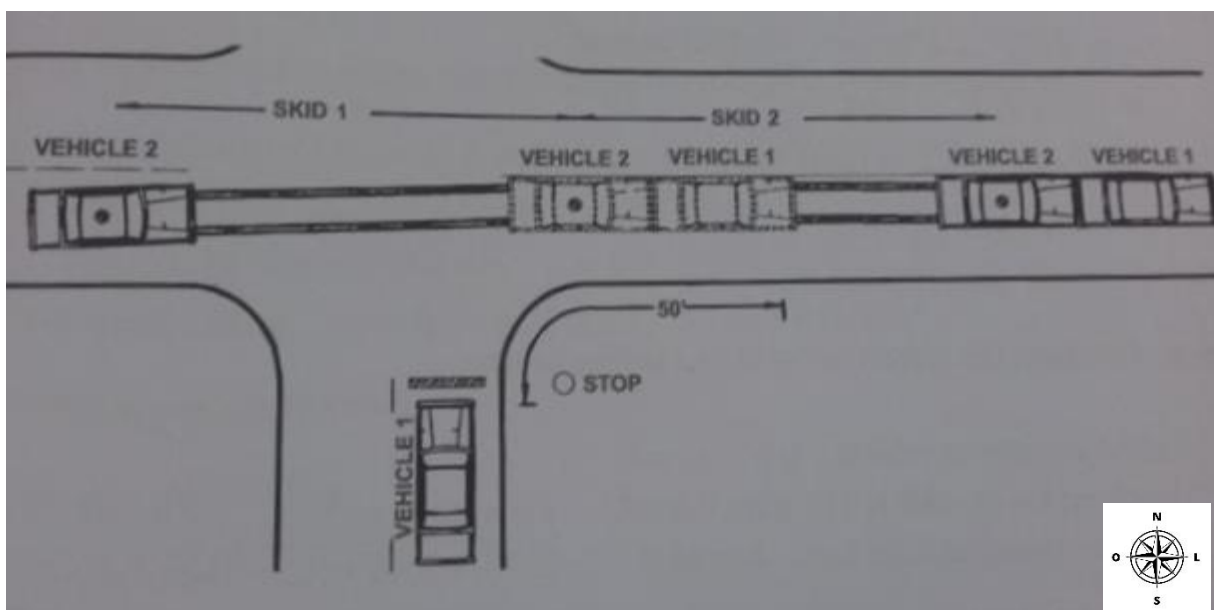


Figura 10-Esquema do Acidente, (Accident Reconstruction Fundamentals, 1999).

No acidente esquematizado na figura 10 o veículo 1 estava seguindo para norte quando parou no STOP antes de continuar e cortar para a direita (leste) no entroncamento, já o condutor do veículo 2 seguia para oeste quando viu o veículo 1 a entrar na sua via o que o fez acionar os travões, o veículo 2 derrapou por 13 metros antes de colidir na traseira do veículo 1. Ambos os veículos permaneceram juntos após o impacto e continuaram a deslizar por 14 metros até à posição final. O coeficiente de fricção do conjunto dos dois veículos com a via é 0,5. O coeficiente de fricção da estrada é 0,7. Os veículos 1 e 2 têm uma massa de 1817 kg cada. A distância que o veículo 1 percorreu antes de ser abalroado foi de 15 metros. Calcula a velocidade dos dois veículos antes de começarem a derrapar.

Segundo testes experimentais a variação de velocidade média nos primeiros segundos de um veículo a arrancar de um STOP é de em 5.3 Km/h em cada segundo (Aycock, E. ., 1999).

### **Cálculo da velocidade dos 2 veículos após a colisão.**

$$a = f \cdot g \quad (11)$$

$$a = 0,5 \cdot (-9,81)$$

$$a = -4,905 \text{ m/s}^2$$

a- Aceleração do conjunto dos 2 veículos;

f- Coeficiente de fricção dos 2 veículos com a via;

g- Aceleração Gravítica;

$$v'_d = \sqrt{v_f^2 - 2 \cdot a \cdot d} \quad (12)$$

$$v'_d = \sqrt{0^2 - 2(-4,905)(14)}$$

$$v'_d = \sqrt{137,34}$$

$$v'_d = 11,79 \text{ m/s} = 42 \text{ km/h}$$

$d$ - Distância percorridos pelos 2 veículos após colisão;

$v_f$ - Velocidade dos veículos na posição final;

$v'_d$ - Velocidade dos veículos antes de iniciarem a derrapagem em conjunto;

**Cálculo da velocidade da velocidade do veículo 1 antes da colisão.**

$$v'_e = \sqrt{v_i^2 - 2 \cdot a \cdot d} \quad (13)$$

$$v'_e = \sqrt{0^2 - 2(1,472)(15)}$$

$$v'_e = \sqrt{44,16}$$

$$v'_e = \frac{6,65m}{s} = 23,9km/h$$

$a$ - Aceleração do veículo 1;

$d$ - Distância de derrapagem após colisão;

$v'_e$ - Velocidade do veículo 1 antes de ser abalroado;

$v_i$ - Velocidade inicial do veículo 1;

**Cálculo da velocidade do veículo 2 antes do impacto, (Usando a conservação do momento).**

$$w_1 \cdot v'_e + w_2 \cdot v_2 = v'_d \cdot (w_1 + w_2) \quad (14)$$

$$1817 \cdot 23,9 + 1817 \cdot v_2 = 42 \cdot (1817 + 1817)$$

$$v_2 = 60,1 km/h$$

$w_1$  e  $w_2$ - Massa do veículo 1 e do veículo 2;

$v_2$ - Velocidade antes do impacto do veículo 2;

## Cálculo da velocidade inicial do veículo 2.

$$a=f.g \quad (15)$$

$$a=0,7 \cdot (-9,81)$$

$$a=-6,86 \text{ m/s}^2$$

a- Aceleração do veículo 2;

f- Coeficiente de fricção do veículo 2;

g- Aceleração Gravítica;

$$v_2 = 60,1 \text{ km/s} = 16,7 \text{ m/s}$$

$$v_i = \sqrt{v_e^2 - 2 \cdot a \cdot d} \quad (16)$$

$$v_i = \sqrt{16,7^2 - 2(-6,86)(13)}$$

$$v_i = \sqrt{457,25}$$

$$v_i = 21,3 \text{ m/s} = 76,7 \text{ km/h}$$

d- Distância de derrapagem do veículo 2;

$v_2$ - Velocidade antes do impacto do veículo 2;

$v_i$ - Velocidade inicial do veículo 2;

### 4.1.3. Exercício académico 2

Dois veículos colidem um com o outro. Nesse momento os seus vetores formavam um ângulo com a trajetória que tinham anteriormente,  $\theta_1$  e  $\theta_2$ . Após a colisão os veículos separam-se. Após se separarem cada veículo na sua posição de repouso forma um ângulo oblíquo com a trajetória que seguiam antes do acidente,  $\theta'_1$  e  $\theta'_2$ . Calcula a velocidade de impacto do veículo 1 e 2 usando o gráfico para o método da conservação do momento (Aycock, E. , 1999).

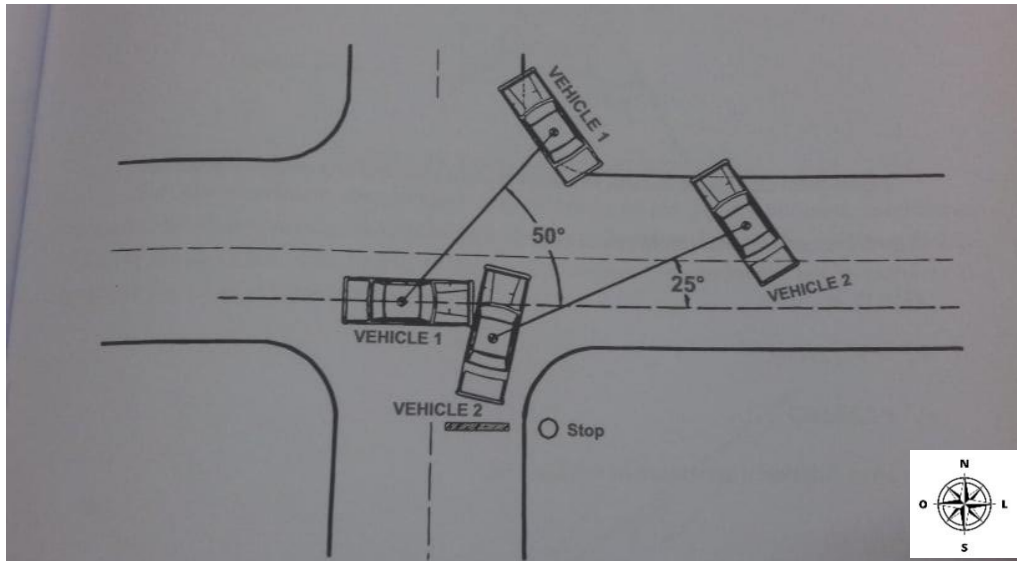


Figura 11-Esquema do acidente, (Accident Reconstruction Fundamentals, 1999).

#### Dados:

- Massa do veículo 1 ( $M_1$ ) -1227 Kg
- Massa do veículo 2 ( $M_2$ ) -1819kg
- $v'_1$ -55 km/h (velocidade de separação após colisão do veículo 1);
- $v'_2$ -38 km/h (velocidade de separação após colisão do veículo 2);
- $\theta_1$ -0° a formar com a linha sentido Este;
- $\theta_2$ -30° formados entre Oeste e Sul;
- $\theta'_1$ -50° formados entre Norte e Leste;
- $\theta'_2$ -25° formados entre Norte e Leste;

#### 4.1.4. Método da Conservação do Momento Através de Vetores

Esta forma de resolução é feita através da exposição num diagrama da representação vetorial dos momentos lineares dos veículos com a direção e sentido corretos. Como o momento linear é o produto da massa ( $M$ ) com a velocidade ( $v$ ) e sendo  $M$  uma grandeza escalar e  $v$  uma grandeza vetorial, o produto, deverá ser um vetor.

De salientar que um vetor deve ser representado no diagrama com direção, sentido e modulo definidos corretamente, de modo que os vetores da mesma classe possam ser somados.

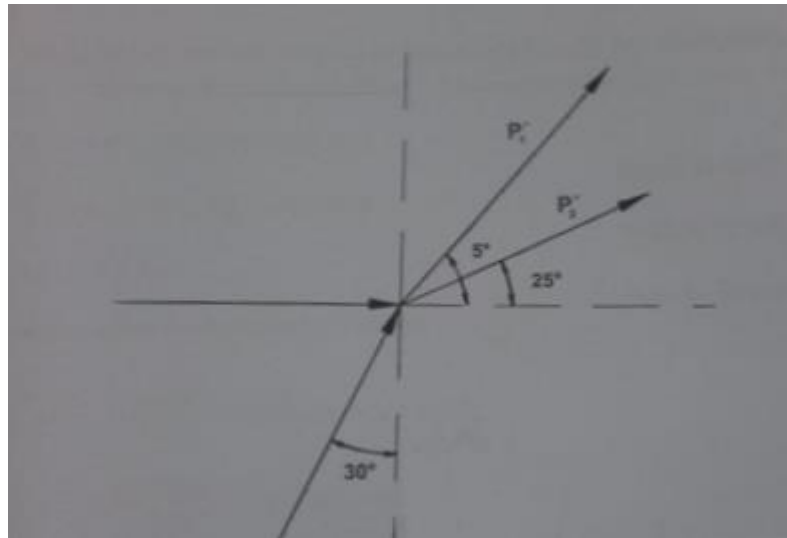


Figura 12-Vetores dos momentos dos veículos durante o evento, (Accident Reconstruction Fundamentals, 1999).

**Momento do veículo 1 após colisão.**

$$P'_1 = v'_1 \cdot M_1 \quad (17)$$

$$P'_1 = 55 \cdot 1227$$

$$P'_1 = 67\,485 \text{ kg.km/h}$$

**Momento do veículo 2 após colisão.**

$$P'_2 = v'_2 \cdot M_2 \quad (18)$$

$$P'_2 = 38 \cdot 1819$$

$$P'_2 = 69\,122 \text{ kg.km/h}$$

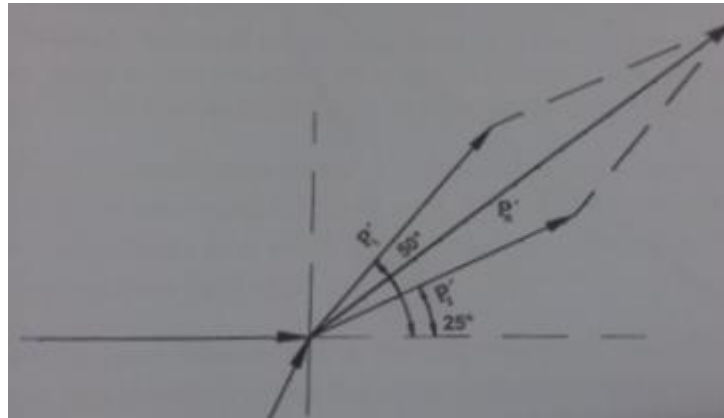


Figura 13-Digrama de momentos após-colisão, (Accident Reconstruction Fundamentals, 1999).

Aplicando os conceitos de trigonometria aos vetores  $P_1'$  e  $P_2'$  foi obtido para  $P_R'$  o valor de 133 514 kg.km/h.

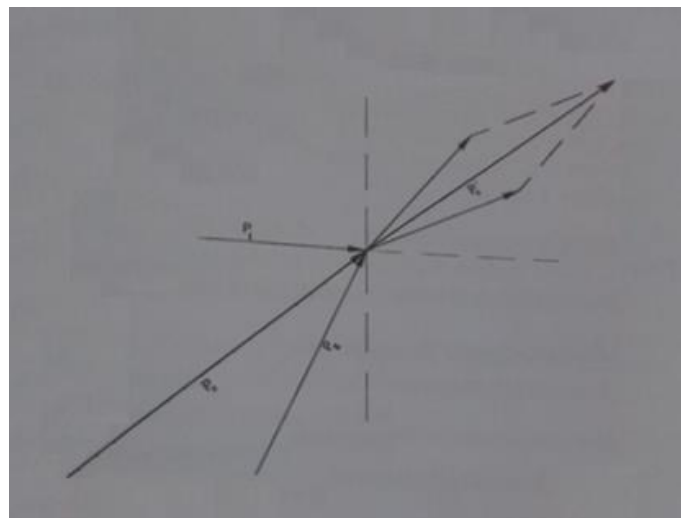


Figura 14-Digrama de momentos após e pré colisão, (Accident Reconstruction Fundamentals, 1999).

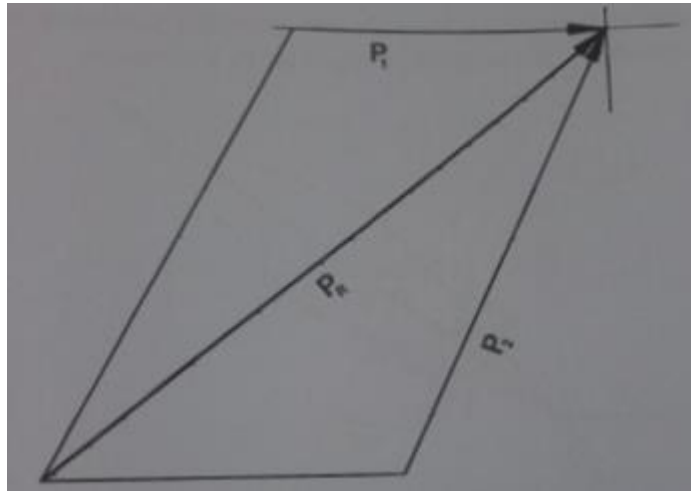


Figura 15-Digrama de momentos pré- colisão, (Accident Reconstruction Fundamentals, 1999).

Como existe conservação de momento,  $P'_R$  é igual a  $P_R$  (momento resultante antes da colisão). Conhecendo  $P_R$  e o ângulo de  $P_2$ , pela aplicação dos conceitos de trigonometria sabe-se que  $P_1$  e  $P_2$  são iguais a 59987 kg.km/h e a 92980 kg.km/h respetivamente.

#### Cálculo da velocidade do veículo 1 antes da colisão.

$$v_1 = \frac{P_1}{M_1} \quad (19)$$

$$v_1 = \frac{59987}{1227}$$

$$v_1 = 49 \text{ km/h}$$

$v_1$ - Velocidade inicial do veículo 1;

#### Cálculo da velocidade do veículo 2 antes da colisão.

$$v_2 = \frac{P_2}{M_2} \quad (20)$$

$$v_2 = \frac{92980}{1819}$$

$$v_2 = 51,1 \text{ km/h}$$

$v_2$ - Velocidade inicial do veículo 2;

O veículo 1 tinha uma velocidade de 49 km/h e o veículo 2 uma velocidade de 51,1 km/h imediatamente antes do acidente.

#### 4.2. Conservação de Energia

Segundo a lei da conservação de energia pode ser feita a reconstituição de um acidente rodoviário teórico, uma vez que um acidente pode ser considerado um sistema isolado, já que a energia consiste na capacidade de um corpo em produzir trabalho ou movimento. Num acidente a energia de movimento (energia cinética) de um corpo A será transformada em trabalho e deformação no seu corpo e no corpo onde embate, o corpo B. Logo o conjunto dos corpos A e B podem ser considerados um sistema isolado uma vez que a quantidade de energia é praticamente constante.

No entanto, a conservação de energia poderia ser aplicada a casos reais (fornecendo uma equação adicional) se a energia de deformação pudesse ser calculada a partir do conhecimento de um comportamento de deformação de um veículo num acidente (em testes de impacto, por exemplo). O conjunto de resultados seria igual à energia cinética perdida. Além disso, a avaliação da energia de deformação facilitaria a comparação dos danos entre os veículos acidentados e aqueles submetidos a testes de colisão.

Essa comparação seria uma verificação desejável nos resultados da validação.

Um veículo tem 3 formas de energia associadas à sua dinâmica e uma forma principal de transmissão de energia (Strubel,D. e Struble,J. , 2013):

1º-Trabalho ( $W$ ), que é uma forma de transmissão de energia pela aplicação de uma força  $F$  ao longo de um deslocamento  $d$ .

$$W = F \cdot d \tag{21}$$

2º-Energia cinética (***Ec***), que é a energia associada ao movimento de translação de um corpo.

$$Ec = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad (22)$$

3º-Energia cinética rotacional (***Erot***), é a energia associada ao movimento de rotação de um corpo, sendo  $\omega$  a velocidade rotacional do objeto.

$$E_{rot} = \frac{I \cdot \omega^2}{2} \quad (23)$$

4º-Energia de deformação (***Ed***), é a energia absorvida pelo veículo numa colisão. Da energia de deformação chega-se ao conceito de *EES* (Energy Equivalent Speed) consiste na velocidade equivalente à velocidade de um veículo com uma energia de deformação no momento da colisão correspondente.

#### 4.2.1. Cálculo de EES

O termo "velocidade equivalente de energia" (EES) foi definido pelos autores (Burg, Martin e Zeidler) como uma velocidade que é transformada durante uma colisão em deformação. International Standard Organization (ISO) define EES como velocidade equivalente à velocidade que um veículo tem durante o contato com um objeto, a fim de obter o valor da energia de deformação equivalente à deformação do veículo.

EES é calculado pela seguinte fórmula ou por comparação das deformações do veículo em análise com as deformações de veículos iguais presentes na base de dados NHTSA (América) ou na Euro NCAP (Europa) (Burg e Moser, 2014).

$$Ed = \frac{1 \cdot m \cdot EES^2}{2} \quad (24)$$

*Ed*- Energia de deformação (J);

*m*- Massa do veículo (kg);

*EES*- Energy Equivalent Speed (m/s);

#### 4.2.2. Cálculo de Energia de Deformação com Base em Testes

Devido ao problema do número de diferentes configurações de deformações ser virtualmente infinito tornou-se desejável que existisse uma fórmula matemática que relacionasse a energia de deformação com o maior número de configurações de deformações possível. Com base em testes de colisão entre veículo e uma barreira indeformável, Campbel desenvolveu uma equação (Aycock, E. , 1999):

$$v = EBS = b_0 + b_1 \cdot C \quad (25)$$

$v$ - Velocidade de impacto (km/h);

$b_0$ -Intersecção, velocidade máxima sem produzir energia de deformação plástica, (km/h);

$b_1$ -Inclinação da reta, relação entre  $b_0$  e área de superfície deformada, ((km/h)/ m);

$C$ - Deformação plástica (m);

A rigidez da frente do veículo, zona exemplo onde pode ser feita uma análise da colisão frontal, é assumida como constante e por essa razão a força de contacto pode ser representada como a função deformação.

$$F = a_0 + a_1 \cdot C \quad (26)$$

Assumindo que existe apenas deformação plástica a deformação de energia pode então ser determinada pela integração:

$$\frac{m \cdot v^2}{2} = \int_0^{w_0} \left( \int_0^c F dc + const \right) dw \quad (27)$$

$$EBS = \sqrt{\frac{2}{m} \int_0^{w_0} \left( \int_0^c F dc + const \right) dw} \quad (28)$$

C-profundidade da deformação;

$w_0$  -Largura da deformação;

$const$  -Energia que não foi convertida em energia de deformação;

$$const = \frac{m}{2 \cdot w_0} \cdot b_0^2 \quad (28)$$

Em 1968 Mackay introduziu o conceito de EBS (equivalente barrier speed) para que se pudessem comparar deformações dos veículos em acidentes reais com as deformações feitas em testes de colisão contra uma barreira indeformável. É assumido que num teste de colisão contra uma barreira, toda a energia cinética é convertida em energia de deformação plástica. Mas, devido à elasticidade dos materiais que compõem o veículo, um valor residual de energia cinética é transformada em energia de deformação elástica. Dessa maneira o valor de EBS é igual ao valor de EES apenas no caso de existir conversão total de energia cinética em energia de deformação plástica. Para colisões diretas (sem embater em nada anteriormente) EES pode ser calculada através de EBS especificando  $k$  (coeficiente de restituição) (Strubel,D. e Struble,J. , 2013).

O coeficiente de restituição é um parâmetro de entrada para o software PC-Crash. Em colisões reais entre veículos, geralmente encontra-se no intervalo entre  $0,1 < k < 0,3$ , sendo que se fosse possível  $k = 0$  a colisão chamar-se-ia inelástica, quando  $k \approx 0$  conclui-se que o acidente é um caso em que o impacto se deu com velocidades elevadas onde a energia cinética transformar-se quase totalmente em energia de deformação plástica. Geralmente, quanto maior a deformação nos veículos, menor o coeficiente de restituição. Valores superiores a 0,3 podem ocorrer para velocidades de embate baixas, especialmente quando ocorre pouco ou nenhum dano (Burg e Moser, 2014).

Se  $k = 1$  classificar-se-ia a colisão como perfeitamente elástica.

O acidente pode ser dividido em duas fases, 1º fase ou fase de compressão (fase até à qual a velocidade relativa entre veículos chega a zero) e a 2º fase, a fase de restituição ou deformação inversa, na qual as estruturas dos veículos recuperam elasticamente e se separam seguindo trajetórias diferentes.

O coeficiente de restituição é definido como a razão entre a restituição e a compressão da seguinte forma (PC-CRASH A Simulation Program for Vehicle Accidents, 2010):

$$k = \sqrt{\frac{w \text{ rets}}{w \text{ comp}}} \quad (29)$$

$$k = \frac{\pi \text{ rets}}{\pi \text{ comp}} \quad (30)$$

$$k = \frac{V \text{ rets}}{V \text{ comp}} \quad (31)$$

$w \text{ rets}$  – Trabalho de restituição

$w \text{ comp}$  – Trabalho de compressão

$\pi \text{ rets}$  – Impacto de restituição

$\pi \text{ comp}$  – Impacto de compressão

$V \text{ rets}$  – Velocidade de restituição

$V \text{ comp}$  – Velocidade de compressão

A energia de deformação de um veículo pode ser então calculada usando EES pelas seguintes formulas:

$$F = \frac{m \cdot v^2}{2} = \frac{m \cdot EBS^2}{2} = W_{\text{plastic}} + W_{\text{elastic}} \quad (32)$$

$$a_0 = \frac{m}{w_0} \cdot b_0 \cdot b_1 \quad (33)$$

$$a_1 = \frac{m}{w_0} \cdot b_1^2 \quad (34)$$

$a_0$ -Força máxima por metro que não causa deformação permanente;

$a_1$ -Rigidez do material do veículo por metro quadrado;

$$const = \frac{m}{2 \cdot w_0} \cdot b_0^2 \quad (35)$$

$$W_{elastic} = \frac{m \cdot (k \cdot EBS)^2}{2} \quad (36)$$

$$W_{plastic} = \frac{m \cdot EES^2}{2} \quad (37)$$

$$EES = EBS \times \sqrt{1 - k^2} \quad (38)$$

$$W_{Def} = \frac{m \cdot EES^2}{2} \quad (39)$$

### 4.2.3. Exercício Académico 3

Um carro (Opel Astra F14I CVAN, BJ 1999) colidiu de frente contra uma barreira com uma velocidade de 45 km/h. De seguida a deformação observável nas figuras 16 e 17 é medida através da sectorização da zona do embate em 6 larguras iguais e medição da deformação em cada secção relativamente a forma que tinha antes do embate. Depois desta tarefa é calculada a deformação média e  $b_0$  (Burg e Moser, 2014).



Figura 16-Imagens do Opel Astra F14 CVAN, BJ 1999 sinistrado, (Handbook of Accident Reconstruction, Part 1, 2014).

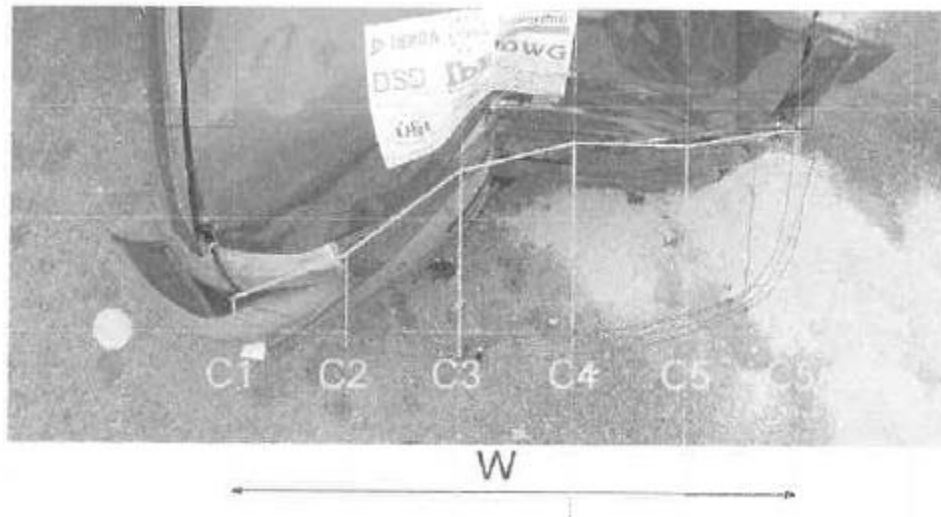


Figura 17-Esquema de pontos de deformação do veículo, (Handbook of Accident Reconstruction, Part 1, 2014).

Largura de deformação = 1,4 m

Largura do carro = 1,7 m

Massa do veículo= 966 kg

Velocidade de impacto sem deformação plástica= 12 km/h

Velocidade= 45,1 km/h

$$C_{\text{médio}} = -\frac{\frac{c_1}{2} + \sum_{i=2}^{n-1} c_i + \frac{c_n}{2}}{n-1} = 0,367 \text{ m}$$

$$b_1 = \frac{v_t - b_0}{c} = 25,05 \text{ 1/s}$$

$$A = a_0 = \frac{m}{w_0} \cdot b_0 \cdot b_1 = 57,6 \text{ kN/m}$$

$$G = \text{Const} = \frac{m}{2 \cdot w_0} \cdot b_0^2 = 3,8 \text{ kN}$$

$$B = a_1 = \frac{m}{w_0} \cdot b_1^2 = 433,1 \text{ kN/m/m}$$

O valor de B é retirado de um teste EBS ou uma base de dados de EBS como a NHTSA ou Euro NCAP, com um veículo igual ou semelhante (B é igual à rigidez do material do carro).

Em um acidente de viação a questão é colocada normalmente ao contrário. A profundidade da deformação é conhecida ou pode facilmente ser obtida e a rigidez do veículo é retirada de uma base de testes EBS como NHTSA ou Euro NCAP, e a partir destes valores pode ser calculada a energia de deformação  $w_{Def}$ .

No cálculo da energia de deformação, a direção da força e a direção da deformação devem ser tomadas em conta, uma vez que se a direção da deformação não estiver na direção da força pode surgir um resultado demasiado elevado ou demasiado baixo de deformação, o que por sua vez irá alterar o valor da energia de deformação (Burg e Moser, 2014).

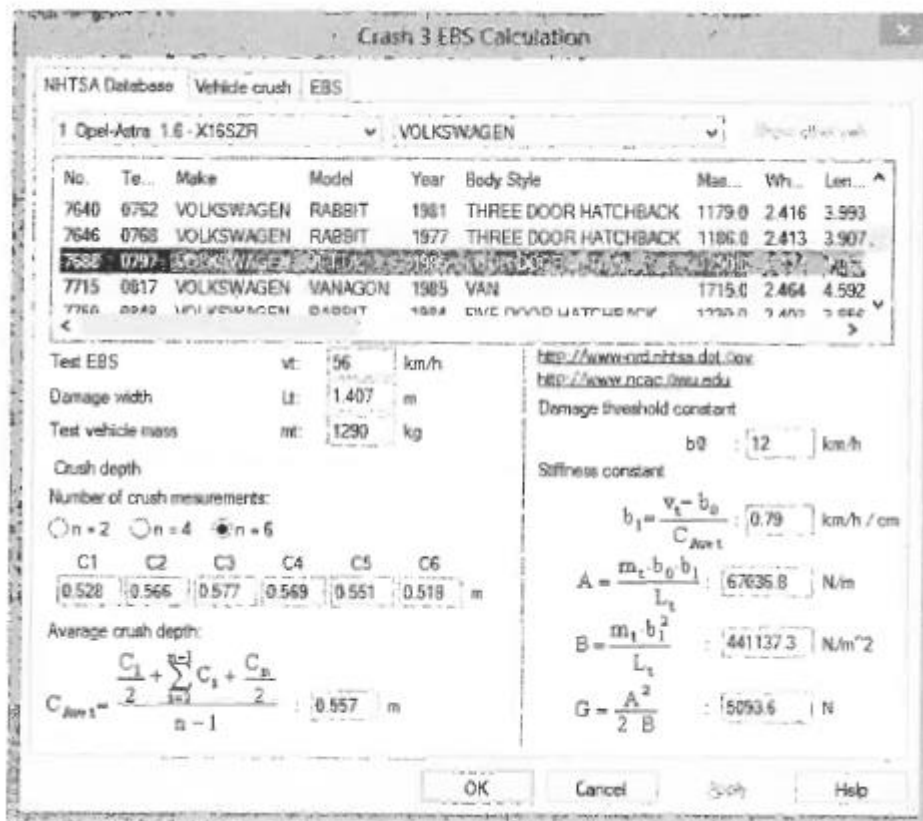


Figura 18-Menu PC-Crash para determinar constante de rigidez do veículo, (Handbook of Accident Reconstruction, Part 1, 2014).

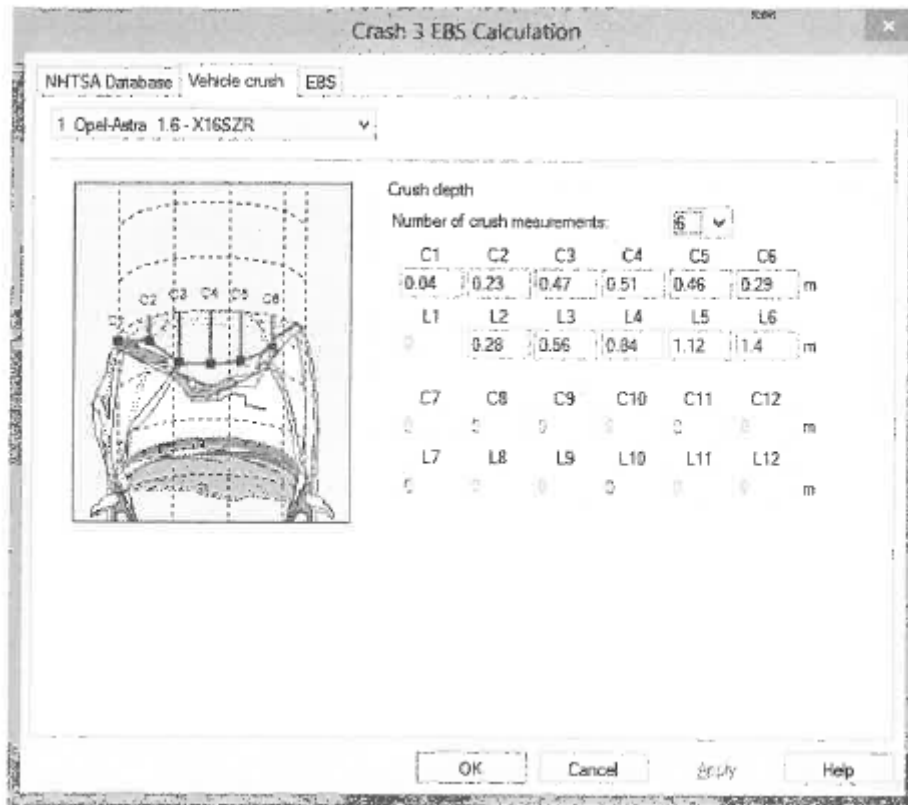


Figura 19-Menu PC-Crash para introduzir valores de deformação, (Handbook of Accident Reconstruction, Part 1, 2014).

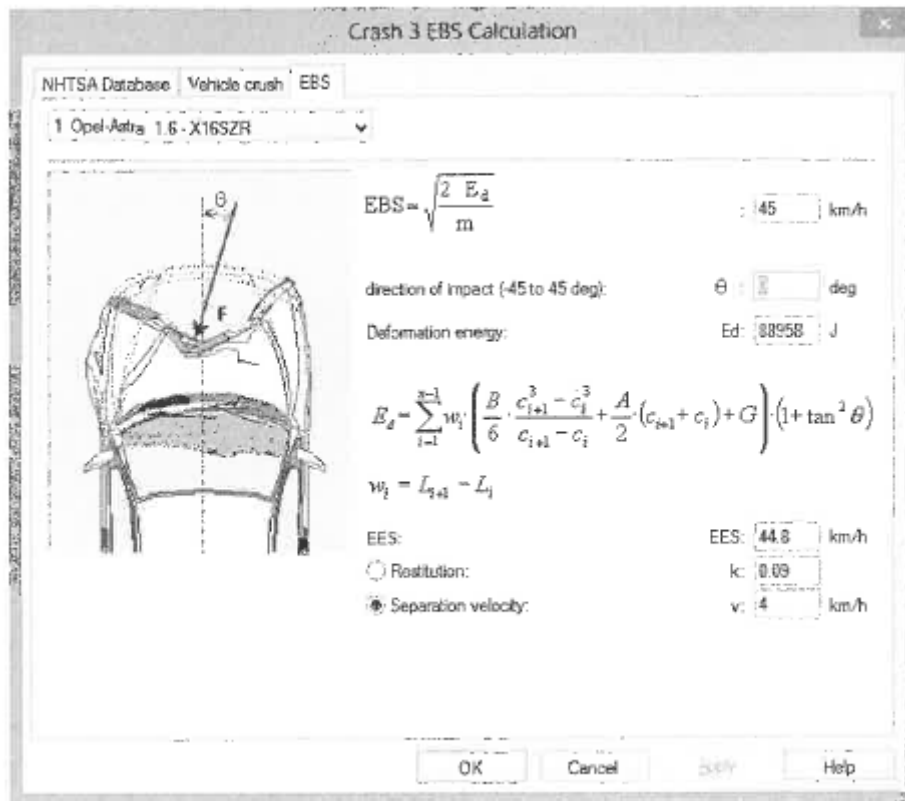


Figura 20-Menu PC-Crash para calculo da energia de deformação, (Handbook of Accident Reconstruction, Part 1, 2014).

Nas figuras 18, 19 e 20 é demonstrada a sequência de cálculo que foi realizada na resolução analítica do exercício 3 se fosse utilizado o software de simulação e cálculo de acidentes rodoviários PC-CRASH.

#### 4.2.4. Exercício Académico 4

Um veículo A de 1364 kg derrapa durante 31 metros e no fim embate de frente contra um veículo B de 1545 kg que se encontrava parado. Após o impacto os dois veículos deslizam juntos 15 metros. Testes à derrapagem mostram que o drag (fator de fricção) para o veículo A é 0,68 e o coeficiente de fricção do piso para os veículos em conjunto é 0,5 (estes valores de fricção são retirados da tabela 15 que se encontra no anexo 3). Padrões de deformação para os veículos foram obtidos por EBS, sendo atribuída a velocidade de 50 km/h (13,9m/s) para o embate do veículo A e 33 km/h (9,17m/s) para o embate do veículo B.

Neste exemplo o veículo A tem toda a energia inicial uma vez que o veículo B se encontrava parado. O valor de energia inicial do veículo A é determinada pelo cálculo da quantidade de trabalho realizado a fazer a derrapagem e na produção das deformações (Aycock, E. , 1999).

Cálculo da velocidade do veículo A antes da derrapagem?

**1º-Cálculo da energia dissipada pelo veículo A e B quando deslizavam juntos após o impacto.**

$$E_1 = f' \cdot (w_F + w_B) \cdot g \cdot d' \quad (40)$$

$$E_1 = 0,5 \cdot (1364 + 1545) \cdot (9,81) \cdot (15)$$

$$E_1 = 214\,029,6\,J$$

**2º-Cálculo da energia dissipada na produção de deformações no veículo A.**

$$E_2 = \frac{W_A \cdot v^2_A}{2} \quad (41)$$

$$E_2 = \frac{1364 \cdot 13,9^2}{2}$$

$$E_2 = 131\,769,2 \text{ J}$$

**3º-Cálculo da energia dissipada na produção de deformações no veículo B.**

$$E_3 = \frac{WB \cdot v^2 B}{2} \quad (42)$$

$$E_3 = \frac{1545 \cdot 9,17^2}{2}$$

$$E_3 = 64\,958,6 \text{ J}$$

**4º-Cálculo da energia dissipada na derrapagem do veículo A antes do impacto.**

$$E_4 = f \cdot w_F \cdot g \cdot d \quad (43)$$

$$E_4 = 0,68 \cdot 1364 \cdot 9,81 \cdot 31$$

$$E_4 = 282\,068,1 \text{ J}$$

**5º-Cálculo da energia total do veículo A antes de começar a derrapar.**

$$E_T = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 \quad (44)$$

$$E_T = 214\,029,6 + 131\,769,2 + 64\,958,6 + 282\,068,1$$

$$E_T = 692\,825,5 \text{ J}$$

**6º-Cálculo da velocidade do veículo A antes de começar de começar a derrapar.**

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot E_T}{w_1}} \quad (45)$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 692\,825,5}{1364}}$$

$$v = 31,9 \text{ m/s} = 114,8 \text{ km/h}$$

**7º-Cálculo da velocidade do veículo A antes do impacto.**

$$E_T = E_1 + E_2 + E_3 \quad (46)$$

$$E_T = 214\,029,6 + 131\,769,2 + 64\,958,6$$

$$E_T = 410\,757,4 \text{ J}$$

$$v_{\text{impacto}} = \sqrt{\frac{2 \cdot E_T}{w_1}} \quad (47)$$

$$v_{\text{impacto}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 410\,757,4}{1364}}$$

$$v_{\text{impacto}} = 24,5 \text{ m/s} = 88,2 \text{ km/h}$$

#### 4.2.5. Exercício Acadêmico 5

Cálculo da velocidade do veículo A que colidiu de frente. O veículo tem uma massa de 1273 kg e tem os seguintes valores de coeficiente de rigidez A, B e G (Aycocock, E. , 1999):

$$\mathbf{A= 35,5 \text{ kN/m}, \mathbf{B= 386 106,4 \text{ N/m}^2}, \mathbf{G= 4007,8 \text{ N}}$$

Foram medidos os seguintes valores de medição de estragos na frente do veículo A:

$$C_1=0,81 \text{ metros}, C_2=0,71 \text{ metros}, C_3=0,63 \text{ metros}, \\ C_4=0,51 \text{ metros}, W=1,52 \text{ metros}, \theta=0^\circ$$

$$E = \frac{W}{6} [6 \cdot G + A \cdot (C_1 + 2C_2 + 2C_3 + 2C_4) + \frac{B}{3} \cdot (c_1^2 + 2 \cdot c_2^2 + 2 \cdot c_3^2 + c_4^2 + C_1 \cdot C_2 + C_2 \cdot C_3 + C_3 \cdot C_4)]. (1 + \tan^2 \theta) \quad (48)$$

$$E = \frac{1,52}{6} [6 \cdot 4007,8 + 35,8 \cdot (0,81 + 2 \cdot 0,71 + 2 \cdot 0,63 + 2 \cdot 0,51) + \frac{386 106,4}{3} \cdot (0,81^2 + 2 \cdot 0,71^2 + 2 \cdot 0,63^2 + 0,51^2 + 0,81 \cdot 0,71 + 0,71 \cdot 0,63 + 0,63 \cdot 0,51)](1 + 0)$$

$$E = 0,253[24 046,8 + 161 458 + 128 702,1 \cdot 4,14]$$

$$E = 181 737,9 \text{ J}$$

$$EES = v = \sqrt{\frac{2 \cdot E}{w_1}} \quad (49)$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 181 737,9}{1272,7}}$$

$$v = 16,9 \text{ m/s} = 60,8 \text{ km/h}$$

A velocidade de embate do veículo A foi de 60,8 km/h. Para chegar a este valor foi usada a equação número 94 que é uma equação que é usada em colisões não perpendiculares, quando a força de colisão forma um ângulo com a superfície de embate a distância através do qual atua é maior do que a deformação medida.

Neste tipo de colisão é adicionado um fator de correção  $1 + \tan^2 \theta$  onde  $\theta$  é o ângulo formado entre a força e a perpendicular da superfície de colisão do veículo colidido. Este fator de correção não deve exceder o valor de 2,0 ou  $\theta=45^\circ$  (Aycock, E. , 1999).

### 4.3. Simulação Multicorpo

Os veículos motorizados são geralmente considerados como corpos rígidos para as simulações de colisões de acidentes de trânsito, incluindo simulações de colisões veículo-veículo, veículo-obstáculos rígidos, como árvores ou paredes. No entanto, para colisões com peões ou em seja preciso analisar a dinâmica do ocupante durante o acidente, este tipo de simulação não permite o movimento do modelado com precisão. Para obter resultados realistas, é necessário modelar o sistema como sistema multicorpo.

Simulações onde é necessário recriar o comportamento dos passageiros, simulações em que existe o interesse em analisar a formação das lesões do ocupante e correlacionar ferimentos nos peões. Nestes casos é necessário estudar o comportamento biomecânico dos ocupantes (utilização modelos multicorpos) de forma a ser possível simular a articulação do corpo em questão, e conseqüentemente saber o comportamento do ocupante durante o acidente (PC-CRASH A Simulation Program for Vehicle Accidents, 2013).

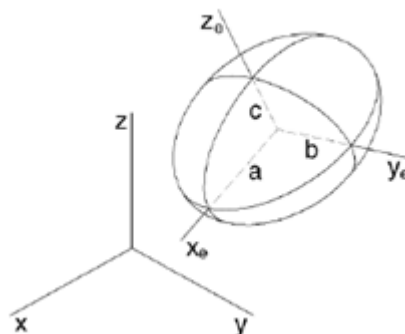
Esta abordagem é utilizada em estudos de atropelamentos, acidentes com veículos de duas rodas ou em acidentes em que ocorrem projeções de passageiros.

A dinâmica de multicorpo é um conceito teórico que está subjacente com a análise da conservação de momentos no programa PC-Crash. Numa forma simplificada o sistema multicorpo corresponde a um conjunto de corpos rígidos ligados por articulações (juntas cinemáticas), um peão ou um passageiro é um sistema multicorpo composto por 20 corpos (elipsoides) e 19 articulações com uma forma aproximada da representada na figura 21. A descrição de um sistema multicorpo de um peão está em anexo 4.



**Figura 21-Sistema multicorpo, (PC-CRASH, Operating and Tecnical Manual, 2013).**

O sistema multicorpo pode ser definido por dois sistemas de coordenadas diferentes. Um sistema de coordenadas é o sistema inercial que e se encontra representado na figura 22. O segundo sistema de coordenadas é o sistema de corpo fixo. Mas o mais recorrente é ser representado pelo sistema inercial, sendo que é definido por semieixos dos elipsoides.



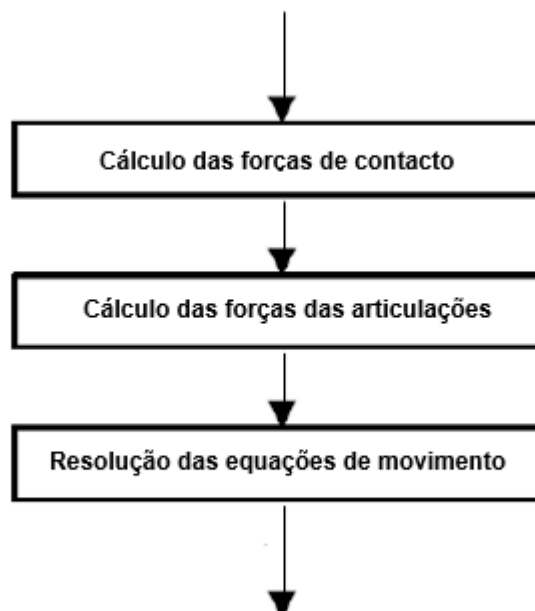
**Figura 22-Sistema de coordenadas inercial, (PC-CRASH, Operating and Tecnical Manual, 2013).**

Propriedades independentes de cada corpo de um sistema multicorpo:

- Geometria: cada membro/corpo é representado por uma elipse, para qual o comprimento de cada eixo (a, b, c) e grau de cada elipse (n) pode ser específica. Valores de graus (n) maiores correspondem a elipse com faces planas e cantos afiados característicos de membros longos como pernas e braços (PC-CRASH A Simulation Program for Vehicle Accidents, 2013);
- Massa e momento de inércia;
- Coeficiente de rigidez;
- Coeficiente de fricção.

Para a simulação de um sistema multicorpo, cada corpo é representado por um elipsoide com coeficiente de rigidez próprio e forças externas (forças gravíticas, forças de contato, forças de atrito e forças provenientes da articulação), estas forças são em cada corpo calculadas a cada instante de integração. Uma vez que as forças externas são determinadas, o movimento de cada corpo é calculado de forma independente, resolvendo as equações do movimento numericamente e seguindo as etapas de calculo representadas na figura 23. (PC-CRASH A Simulation Program for Vehicle Accidents, 2013).

Cálculo do movimento do sistema multicorpo, no tempo de integração n



Cálculo do movimento do sistema multicorpo, no tempo de integração n+1

Figura 23-Etapas da simulação de um sistema multicorpo, (PC-CRASH, *Operating and Tecnical Manual*, 2013).

As seguintes equações descrevem a superfície e as normais da superfície para elipsoides, de grau  $n$  com semieixo  $a$ ,  $b$  e  $c$  (Aycock, E. , 1999):

$$P = \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} \quad (50)$$

$$X(u, v) = a \cdot \cos^{\frac{2}{n}}(v) \cdot \cos^{\frac{2}{n}}(u) \quad (51)$$

$$Y(u, v) = b \cdot \cos^{\frac{2}{n}}(v) \cdot \sin^{\frac{2}{n}}(u) \quad (52)$$

$$Z(u, v) = c \cdot \sin^{\frac{2}{n}}(u) \quad (53)$$

$$\vec{n}(u, v) = \frac{1}{a} \cdot \cos^{2-\frac{2}{n}}(v) \cdot \cos^{2-\frac{2}{n}}(u) \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \frac{1}{b} \cdot \cos^{2-\frac{2}{n}}(v) \cdot \sin^{2-\frac{2}{n}}(u) \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} + \frac{1}{c} \cdot \sin^{2-\frac{2}{n}}(u) \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (54)$$

$$u \in (-\pi, \pi)$$

$$v \in \left(-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right)$$

As equações do movimento usam o equilíbrio de forças e a conservação do momento angular para descrever o movimento de cada corpo a partir da influência das forças e momentos externos (PC-CRASH A Simulation Program for Vehicle Accidents, 2013).

$$m_i \cdot \ddot{x}_i = \sum_j \vec{F}_j \quad (55)$$

$$\theta_i \cdot \dot{\vec{\omega}}_i + \vec{\omega}_i \cdot \theta_i \cdot \omega_i = \sum_j \vec{M}_j \quad (56)$$

$$\theta_i = \begin{pmatrix} I_{x_x} & -I_{x_y} & -I_{x_z} \\ -I_{x_y} & I_{y_y} & -I_{y_z} \\ -I_{x_z} & -I_{y_z} & I_{z_z} \end{pmatrix} \quad (57)$$

$m_i$  – Massa do corpo  $i$ ;

$x_i$  – Aceleração no C.G. do corpo  $i$  no espaço inercial;

$\vec{F}_j$  -Forças exterior ao corpo  $i$  no sistema de coordenadas inercial;

$\theta_i$  - Tensor de massa para o corpo  $i$  no sistema de coordenadas do corpo;

$\dot{\vec{\omega}}_i$  – Aceleração angular do corpo  $i$  no sistema de coordenadas do corpo;

$\vec{\omega}_i$  - Velocidade angular do corpo  $i$  no sistema de coordenadas do corpo;

$\vec{M}_j$  – Momentos externos no corpo  $i$  no sistema de coordenadas do corpo;

### Limitações do modelo:

- Contacto entre dois corpos ligados com uma articulação em comum não é reconhecido.
- Em simulações de acidentes entre veículos ou veículos e estruturas rígidas como muros ou postes, tanto os veículos como os obstáculos são assumidos como corpos rígidos.
- Impactos de elevada velocidade em sistemas multicorpos exigem um tempo de integração mais reduzido. Caso contrário, haverá um aumento da quantidade de sobreposição entre cálculos, e resultará em resultados de forças de contacto irrealistas. Em todos os casos, com impactos usando sistemas multicorpo o tempo de integração deve ser reduzido para 1 milissegundo ou menos.

## 5. Conclusões e Propostas Futuras

Neste capítulo serão apresentadas as conclusões que surgiram com a observação e análise do trabalho realizado. No seguimento desta tese, sugerem-se atividades que não puderam ser realizadas durante o desenvolvimento desta tese (tarefa em anexo 5). Referem-se também propostas e ideias de desenvolvimentos que se sugerem ser levados a cabo em trabalhos futuros neste âmbito.

### 5.1. Conclusões

O acidente rodoviário tem seguramente diversas causas e consequências, as quais têm sido investigadas por entidades competentes ao longo de muitos anos. No entanto, embora com uma tendência evolutiva favorável decorrente da aplicação de medidas de prevenção e novas tecnologias aos meios de locomoção, o problema dos acidentes rodoviários persiste. Tal deve-se, em parte ao erro humano, que mesmo com a aplicação de medidas, tecnologias e reconstituições computacionais aos acidentes, é um fator que não é possível eliminar por completo.

Como ficou demonstrado neste estudo, o Homem tem ao seu dispor meios, metodologias e tecnologias eficazes que lhe permitem recriar e reconstituir um acidente.

O desafio que se coloca, uma vez que existem meios disponíveis para identificar os problemas específicos que levaram à ocorrência dos acidentes rodoviários é atuar.

No presente trabalho procurou-se realizar uma investigação sobre acidentes rodoviários em Portugal e identificar os principais fatores que influenciam a ocorrência dos mesmos. Alguns dos fatores identificados foram o tempo, o horário de circulação, a idade dos indivíduos, o tipo de estrada, etc.

Esta informação é importante pois fornece uma base de dados com a qual pode ser possível planear medidas de intervenção para combater o ainda elevado número de ocorrências.

Apesar de existir uma evolução positiva dos números de sinistralidade rodoviária, desde 2000 o estado de Portugal em questões de sinistralidade rodoviária não está no patamar desejado e idealizado pelo país. No sentido de melhorar a segurança dos utilizadores das vias nacionais e mundiais, muito trabalho tem que ser feito para mudar mentalidades e hábitos dos utilizadores das estradas.

Para tal, o trabalho realizado foi direcionado para uma abordagem informativa do público alvo (utilizadores das estradas) seguindo uma metodologia faseada, primeiramente através de uma abordagem da evolução da sinistralidade a nível europeu, seguindo-se uma análise sobre a mesma temática a nível nacional, centrando a análise no período de 2000-2019.

Foi feita uma contextualização do estado da arte sobre a recolha de dados para a realização de simulações computacionais de acidentes rodoviários, sendo este passo o passo de maior importância para a realização de uma reconstituição rigorosa do acidente. Constata-se que é recorrente o levantamento de todos os vestígios resultantes dos acidentes, estar condicionado pela não utilização de meios, técnicos e métodos corretos. Tal leva a que as características dos sinistros não sejam identificadas corretamente no croqui, que servirá de base para a simulação, resultando numa incorreta passagem de dados ao investigador que, assim, irá desenvolver um trabalho com resultados afastados da realidade.

Por fim, com uma apresentação da componente da matemática base que está por trás das simulações computacionais, tornou-se mais clara a investigação dos acidentes rodoviários e a metodologia a adotar para cada tipo de acidente e para cada objetivo de investigação.

A simulação computacional permite recriar cenários bastante aproximados da realidade. A utilização de *software* computacional para estudar a dinâmica e as consequências de diversos tipos de acidentes, é, portanto, uma mais-valia. A partir daí, permite delinear medidas de segurança e auxílio que possam ser utilizadas em caso de um acidente de viação.

O acidente terá de ser sempre contextualizado e investigado em função dos elementos que compõem o sistema de circulação rodoviário: o Homem, o veículo e a via. É necessário perceber em que medida todos os elementos contribuem para a ocorrência do acidente. E mais importante ainda, é permitir implementar medidas que protejam o Homem em caso de acidente, tornando o sistema de circulação rodoviário num sistema Humanizado.

## 5.2. Propostas futuras

A complexidade da investigação nos acidentes de viação levantará sempre discussões quanto à sua relevância e eficácia. O elevado número de variáveis a ter em conta num estudo de reconstituição de um acidente poderá ser visto por alguns investigadores como uma tarefa difícil, exigente e, por vezes, inconsequente. No entanto, a imposição e pertinência da sua elaboração permite acreditar que ainda estará muito por descobrir e muito por acrescentar nesta matéria.

- Para propostas futuras existem diversas ramificações da reconstituição computacional de acidentes de viação. Uns dos estudos que poderão ser realizados são a reconstituição de acidentes de viação com veículos de duas rodas ou acidentes com peões uma vez que neste âmbito são avaliados comportamentos, tipo de colisões e dano/lesões corporais que não foram abordados na sua plenitude nesta tese. Por outro lado, a investigação das lesões corporais resultantes de acidentes rodoviários facultará dados que permitiram a reconstituição de novos acidentes e a melhoria de sistemas de segurança dos veículos já existentes. Para além da melhoria de sistemas de segurança é possível entender a resistência do corpo humano ao impacto provocado pelos veículos. Esta análise poderia ser feita com recurso ao programa PC-Crash ou ao programa MADYMO, que permitem conjugar modelos de corpos múltiplos e modelos de elementos finitos, mas principalmente, a utilização de modelos antropométricos mais detalhados e que permitem determinar um maior número de variantes de lesões corporais.
- Ainda ao nível das reconstruções computacionais de acidentes rodoviários seria interessante o desenvolvimento de estudos com veículos da categoria BE ou CE. Devido ao veículo ser um conjunto formado por um veículo mais reboque ou semirreboque apresentam um comportamento, na situação de acidente, diferente dos veículos abordados neste trabalho.
- Utilização de programas de inteligência artificial, para uma análise estatística aos dados de sinistralidade rodoviária e desenvolvimento de um modelo estatístico no sentido de determinar os principais fatores de risco associados a cada tipo de acidente rodoviário.

- Ao nível da recolha de informação, seria oportuno o desenvolvimento de um sistema ou aplicação para a realização de croquis com sistemas cada vez mais precisos e eficazes, como por exemplo a utilização de *drones*, lasers de varrimento ou fotogrametria, pois seriam uma ferramenta que iria proporcionar um maior rigor e otimização no processo da elaboração de croquis, podendo fornecer croquis mais pormenorizados e à escala.
- Realizar várias reconstituições de acidentes rodoviários ocorridos em zonas de estrada classificadas como pontos negros, de forma a identificar as possíveis causas comuns aos vários acidentes ocorridos nesse local com vista a poder atribuir soluções que diminuam a probabilidade de ocorrência em tais locais.
- Realização da reconstituição do acidente rodoviário, utilizando como apoio informático o software PC-Crash para a realização da possível trajetória efetuada pelos 2 veículos envolvidos, para descobrir os valores das velocidades de cada veículo e como conclusão descobrir qual o veículo responsável pela ocorrência do acidente rodoviário. As informações para este estudo encontram-se no anexo 5.

## Referencias Bibliográficas

- **Referência de Livros**

Strubel,D. e Struble,J., (2013).Automotive Accident Reconstuction, Second Edition (em Inglês).

Aycock, E., (1999). Accident Reconstruction Fundamentals. (em Inglês).

Heinz, B. e Moser. A., (2014). Handbook of Acident Reconstruction, Part 1 (em Inglês).

- **Referência de Artigos de Revistas**

World Health Organization (2018). GLOBAL STATUS REPORT ON ROAD SAFET 2018, pp. 0-88.

World Health Organization (2013). GLOBAL STATUS REPORT ON ROAD SAFET 2013, pp. 0-51.

- **Referência de Relatórios Técnicos**

Donário, A. e Santos,R. (2012). Custo Econômico e Social dos Acidentes e viação em Portugal, (CARS), Universidade Autônoma de Lisboa.

Autoridade Nacional Segurança Rodoviária (ANSR), (2019). Relatório Anual de Segurança Rodoviária, Administração Interna.

European Road Safety Observatory (ERSO), (2018). Annual Accident Report 2018, ERSO. European Commission.

Alrukaibi, F. e Alotaibi, N. e Almutairi, M., (2015). Methodology Calculation the Traffic Accidents Costs, Civil Engineering Department, College of Engineering and Petroleum, Kuwait University Kuwait.

- **Referência de Teses / Dissertações**

Maio, A., (2009). Investigação de Acidentes de Viação-Conhecer para Combater, Curso de Cavalaria de Guarda Nacional Republicana, Lisboa.

Bernardo, D., (2012). Investigação Aprofundada de Acidentes com Veículos de Duas Rodas Motorizadas recorrendo a Modelos Computacionais, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Técnica de Lisboa.

- **Referência de Manuais de Softwares:**

PC-CRASH A Simulation Program for Vehicle Accidents (2010), Operating Manual – version 9.0, Linz, Aurtria.

PC-CRASH A Simulation Program for Vehicle Accidents (2013), Operating and Technical Manual – version 10.0, Linz, Aurtria.

- **Referência de sites de Internet:**

Autoliv (2020). <https://www.autoliv.com/products/passive-safety/future-technologies>. Autoliv , Reino Unido, acessado em 14/07/2021, em: <https://www.autoliv.com/products/passive-safety/future-technologies> .

Engineersupply (2022). Canadá, acessado em 02/03/2022, em: <https://www.engineersupply.com/total-stations.aspx> .

Eurolab (2021). EUROLAB Laboratory Services, Istambul, acessado em 03/09/2021, em: <https://www.eurolab.com.tr/> .

Euroncap (2021). The European New Car Assessment Programme, Bélgica. acessado em 27/08/2021, em: <https://www.euroncap.com/en> .

Eurostat (2021). Eurostat Statistics Explained , União Europeia, acessado em 12/05/2021, em: <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics> .

NHTSA (2021). Highway Traffic Safety Administration, Washington, acessado em 23/08/2021, em: <https://www.nhtsa.gov/> .

PORDATA (2021). Base de Dados Portugal Contemporâneo, Portugal, acessado a 19/03/2021, em: <https://www.pordata.pt/Portugal/Acidentes> .

Statista Research Department (2020). Road-Accidents, União Europeia, acessado em 26/02/2021, em: <https://www.statista.com/.Statista> .

UNECE (2021). Comissão Económica das Nações Unidas para a Europa, Genebra, acessado em 21/08/2021, em: <https://unece.org/> .

Volvocars (2021). Volvo Safety , Suécia, acessado em 06/08/2021, em: <https://www.volvocars.com/pt/v/car-safety/safety-heritage> .

## Anexo 1

- ECE R-3 Aprovação de refletores de veículos automotores
- ECE R-8 Aprovação de faróis de filamentos de halogéneo para veículos automóveis
- ECE R-10 Aprovação de veículos motorizados para compatibilidade Eletromagnética
- ECE R-11 Aprovação de elementos de fixação da porta
- ECE R-12 Homologação de veículos motorizados para proteção do condutor contra o aparelho de governo em caso de colisão
- ECE R-16 Aprovação dos cintos de segurança
- ECE R-17 Aprovação de assentos, conexões e encostos de cabeça para veículos a motor
- ECE R-21 Homologação de equipamentos internos para veículos automotores
- ECE R-25 Aprovação da cabeceira do veículo motorizado
- ECE R-26 Aprovação do balanço externo do veículo a motor
- ECE R-31 Homologação de faróis de átomos de halogéneo para veículos a motor com cruzamento assimétrico e / ou feixe de estrada
- ECE R-32 Aprovação do comportamento da estrutura automobilística nos impactos traseiros dos veículos automotores
- ECE R-33 Aprovação do comportamento da estrutura automobilística de veículos automotores em impactos frontais
- ECE R - 34 Aprovação de veículos para a prevenção de riscos de incêndio
- ECE R - 44 Aprovação do dispositivo de fixação para assentos infantis em veículos movidos a energia
- ECE R-45: Aprovação de limpadores de faróis e veículos com limpadores de faróis
- ECE R-50 Aprovação de sistemas de iluminação para motocicletas e ciclomotores
- ECE R-52 8-16 Aprovação das estruturas de veículos automotores
- ECE R - 60 Aprovação de controles operados pelo motorista, incluindo introdução de controles, advertências e indicadores em veículos motorizados e ciclomotores de duas rodas
- ECE R-77 Aprovação de luzes de estacionamento para veículos motorizados
- ECE R - 80 Assentos de grandes veículos de passageiros e aprovação da resistência dos assentos e fixações nesses veículos
- ECE R-83 Aprovação de emissões de poluentes de acordo com as especificações de combustível do motor
- ECE R - 87 Aprovação de luzes diurnas para veículos motorizados
- ECE R-88 Aprovação de pneus refletivos para veículos de duas rodas
- ECE R-89 Aprovação de limites de velocidade em veículos automotores

## Anexo 2

Estratégias do Sistema Seguro “Em Direção do Objetivo Zero” estabelece os elementos principais das estratégias para a implementação de uma abordagem a sistemas seguros. Inclui os seguintes elementos:

- Objetivo principal, a eliminação a longo prazo de todas as mortes e traumatismos graves resultantes dos acidentes rodoviários.
- Reconhecer que apesar dos esforços de prevenção, os utilizadores das estradas continuarão falíveis e os acidentes ocorrerão.
  - Sublinhar que as pessoas envolvidas na conceção do sistema necessitam de aceitar a responsabilidade de garantir que não ocorrerão mortes ou lesões graves como resultado da utilização do sistema de transportes rodoviários e que as pessoas que utilizam o sistema necessitam de aceitar a responsabilidade de cumprir as regras e as restrições do referido sistema.
- Estabelecer ou reforçar as atuais modalidades de acompanhamento independente do desempenho da conceção do sistema, sendo que este apoiaria o desempenho do sistema seguro.
- Desenvolver um sistema de transportes ainda mais capaz de acomodar o erro humano ao reduzir a energia de colisão através da gestão da interação de todos os componentes do sistema de transportes, mas sobretudo através da melhoria da gestão da infraestrutura rodoviária, da velocidade de circulação e dos veículos.
- Apontar para quase 100% de conformidade com as regras atuais, apenas sendo possível através da implementação de soluções inovadoras, incluindo as novas tecnologias.
- Desenvolver estruturas de gestão abrangentes que integrem todas as agências governamentais principais e outras organizações, que desempenham um papel na determinação do funcionamento seguro do sistema de transporte.
- Conjuguar as decisões de gestão de segurança com transportes mais abrangentes e decisões de planeamento que vão ao encontro de metas económicas mais vastas e de objetivos de saúde humana e ambiental.
- Reorientar as intervenções para se centrarem sobre a qualidade inerente à segurança da infraestrutura rodoviária, e regulação da velocidade de circulação para os limites de segurança implícitos nessa infraestrutura, quer se trate de uma rua de acesso urbano ou uma autoestrada principal.
- Dar uma maior prioridade à utilização da tecnologia para melhorar a segurança do sistema de transportes rodoviários, quer seja direcionada para a condução sob o efeito do álcool através de sistemas anti arranque, ou melhorar a segurança inerente dos

veículos, que se foque no desenvolvimento de relações tecnológicas entre o veículo e a infraestrutura rodoviária.

- Abordagem à segurança rodoviária a um nível organizacional ou empresarial, quer seja através de melhorias nas normas e diretrizes utilizadas por autoridades rodoviárias, quer através de mecanismos de incentivo, como o desenvolvimento de uma norma ISO que ajuda a criar uma procura comercial, e um retorno comercial, por produtos e serviços seguros.

## Anexo 3

Tabela 15-Coeficientes de fricção.

Coeficiente de fricção (não aplicável a camiões)					
Descrição da superfície da via		Seco		Molhado	
		<48 km/h	>48 km/h	<48 Km/h	>48 Km/h
Betão	Novo	0,8-1,2	0,7-1,0	0,8-0,8	0,4-0,75
	Meio uso	0,6-0,8	0,6-0,45	0,45-0,7	0,45-0,65
	Desgastado/Polido	0,55- 0,75	0,50- 0,65	0,45-0,65	0,45-0,6
Asfalto ou Alcatrão	Novo	0,8-1,2	0,65-1,0	0,5-0,8	0,45-0,75
	Meio uso	0,6-0,8	0,55-0,7	0,45-0,7	0,4-0,65
	Desgastado/Polido	0,55- 0,75	0,45- 0,65	0,45-0,65	0,4-0,6
	Excesso de alcatrão	0,5-0,6	0,35-0,6	0,3-0,6	0,25-0,55
Gravilha	Com óleo	0,55- 0,85	0,5-0,8	0,4-0,8	0,4-0,6
	Solta	0,4-0,7	0,4-0,7	0,45-0,75	0,45-0,60
Pó/Cinzas	Compactado	0,5-0,7	0,5-0,7	0,65-0,75	0,65-0,75
Calçada	Pedra	0,55- 0,75	0,55- 0,75	0,55-0,75	0,55-0,75
Gelo	Liso	0,1-0,25	0,07-0,2	0,05-0,1	0,05-0,1
Neve	Compactada	0,3-0,55	0,35- 0,55	0,3-0,6	0,3-0,6
	Solta	0,1-0,25	0,1-0,2	0,3-0,6	0,3-0,6

## Anexo 4

**Tabela 16-Designação dos corpos que compõem o sistema multi corpo humano.**

corpo 0	tronco
corpo 1	quadril
corpo 2	fêmur esquerdo
corpo 3	parte inferior da perna esquerda
corpo 4	pé esquerdo
corpo 5	fêmur direito
corpo 6	parte inferior da perna direita
corpo 7	pé direito
corpo 8	braço direito
corpo 9	antebraço direito
corpo 10	braço esquerdo
corpo 11	antebraço esquerdo
corpo 12	pescoço
corpo 13	cabeça
corpo 14	joelho esquerdo
corpo 15	joelho direito
corpo 16	centro da parte inferior da perna esquerda
corpo 17	centro da parte inferior da perna esquerda
corpo 18	centro do fêmur esquerdo
corpo 19	centro do fêmur direito

**Tabela 17-Designação das articulações que compõem o sistema muito corpo humano.**

articulação 0	corpo 0-1
articulação 1	corpo 0-12
articulação 2	corpo 0-10
articulação 3	corpo 0-8
articulação 4	corpo 4-12
articulação 5	corpo 1-5
articulação 6	corpo 2-3
articulação 7	corpo 3-4
articulação 8	corpo 5-6
articulação 9	corpo 6-7
articulação 10	corpo 8-9
articulação 11	corpo 10-11
articulação 12	corpo 12-13
articulação 13	corpo 2-14
articulação 14	corpo 5-15
articulação 15	corpo 3-16
articulação 16	corpo 6-17
articulação 17	corpo 2-18
articulação 18	corpo 5-19

## Anexo 5

### Caso real de um acidente rodoviário

#### Depoimento do Condutor do veículo nº1

A condutora do veículo nº1, afirma que seguia na autoestrada A22, numa zona reta e na via da direita, com o intuito de pôr gasolina na próxima bomba de combustível. Circulava no sentido Portimão-Faro a aproximadamente 80 km/h quando olhou para o retrovisor e não viu nenhum veículo nem à frente nem atrás do seu. Foi neste instante que sentiu um embate forte na zona traseira do carro e nesse instante o carro foi embater nos blocos separadores centrais, embatendo depois nas guardas metálicas de segurança. Posteriormente ficou dentro do carro, referindo que nesta altura se encontrava um veículo branco parado mais à frente, aproximadamente 300 metros, de salientar que nesse dia estava bom tempo.

Tabela 18- Características do veículo nº1.



Fabricante	Ford
Modelo	Fiesta 1.1
Cor	Vermelho
Matrícula	47-94-FA
Ano	1995
Tara	845 Kg

Figura 24-Veículo nº1.

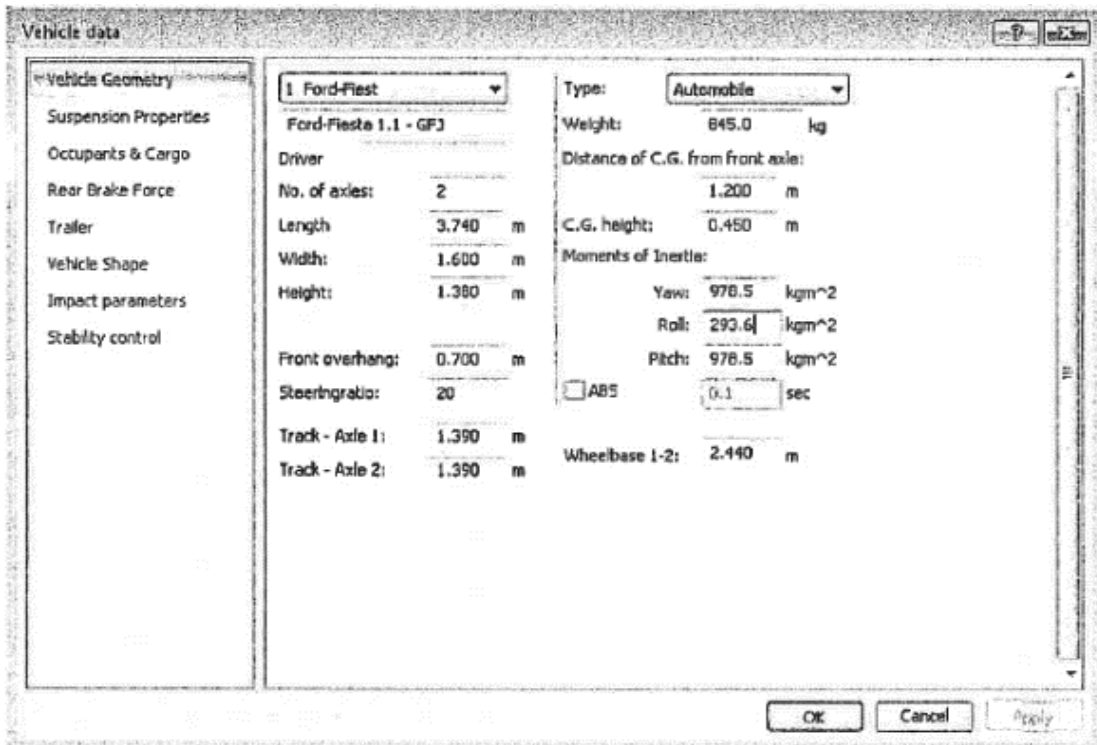


Figura 25-Menu do PC-Crash com características do veículo nº1.

## Depoimento do Condutor do veículo nº2.

O condutor do veículo nº2, disse que vinha de Portimão e circulava na via do Infante, no nó de Lagoa, numa estrada com duas faixas, numa via rápida antes de chegar às bombas de gasolina, quando ocorreu o acidente. Seguiu na faixa da direita, numa zona reta grande e ia a aproximadamente 70-80 km/h. Viu que não se aproximava ninguém do lado direito nem havia ninguém à sua frente quando alguém se colocou à sua frente. Referiu que quando entrou na via rápida, não se encontrava ninguém à sua frente. No entanto, antes das bombas de gasolina, deparou-se com um carro na mesma via onde circulava. Neste momento fez uma ultrapassagem, a aproximadamente 5 metros do veículo nº 1, e passou para o lado esquerdo, quando se deu o acidente, admitindo não ter travado aquando do acidente. Ao passar para o lado esquerdo, o condutor do veículo nº 1 deu uma ligeira inclinação para o lado esquerdo e nesta altura ocorreu o embate na zona lateral direita e na zona traseira esquerda do carro do veículo nº1, tendo o veículo nº 1 perdido o controlo e ido contra o separador central. Quanto ao seu veículo, o veículo nº 2, afirma que o pneu da frente do lado direito se furou, tendo ido o veículo a deslizar até à bomba de gasolina, onde se conseguiu encostar à direita, parando uns 50 metros depois. Posteriormente a isto, o condutor do veículo nº 2 parou o seu veículo, ligou os quatro piscas e voltou para trás em auxílio do condutor do veículo nº 1.

Tabela 19-Características do veículo nº2.



Fabricante	Citroen
Modelo	Berlingo
Cor	Branco
Matrícula	73-18-27
Ano	2010
Tara	1429 Kg

Figura 26-Veículo nº2.

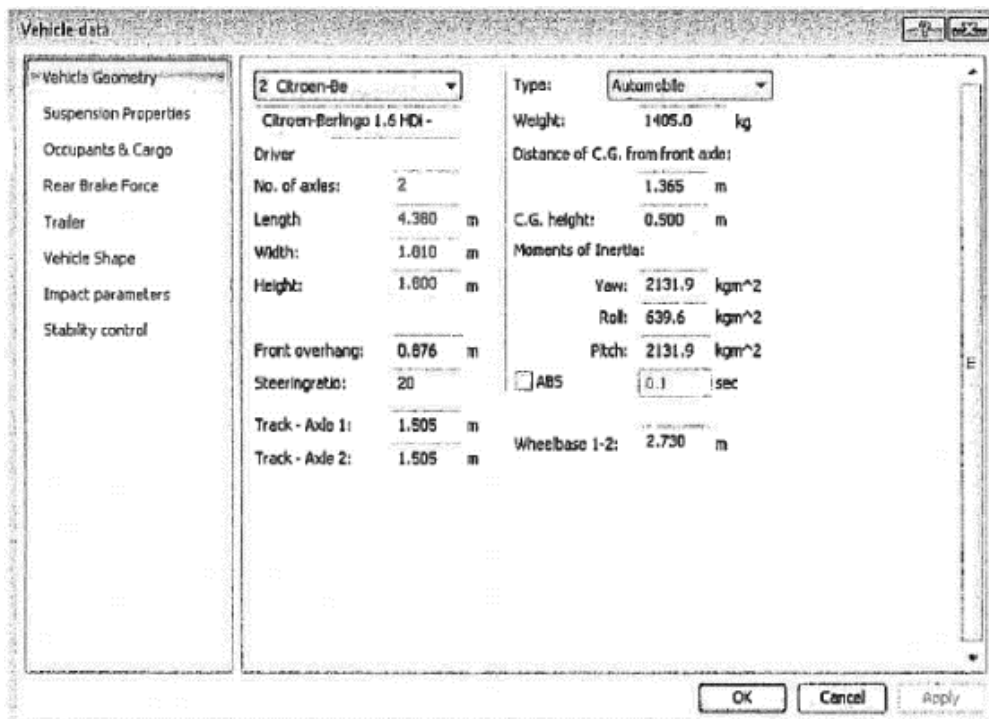


Figura 27-Menu do PC-Crash com características do veículo nº2.

**Tabela 20-Tabela com características do local e envolvente do acidente.**

<b>Local</b>	Autoestrada A22, km 30.3, Concelho de Silves, Distrito de Faro. Sentido de referência: Portimão - Albufeira.
<b>Configuração da faixa de rodagem</b>	Faixa de rodagem composta por duas vias em cada sentido. Vias de circulação com 3,7 metros de largura. A zona onde ocorreu o acidente é uma reta com cerca de 1 km. Guarda metálica de segurança no lado direito no sentido de circulação dos veículos. Separador de cimento no lado esquerdo no sentido de circulação dos veículos.
<b>Tipo de piso</b>	Pavimento betuminoso, em regular estado de conservação, superfície seca.
<b>Limite de velocidade</b>	120 km/h.
<b>Condições meteorológicas</b>	Bom tempo.
<b>Condições de circulação</b>	Dia. Baixa intensidade de trânsito.
<b>Data e hora</b>	19 de outubro de 2011, às 14 horas e 00 minutos.
<b>Vestígios existentes no local</b>	Destroços dos veículos no pavimento: plásticos e vidros,
<b>Marcas rodoviárias</b>	A sinalização horizontal marcada no pavimento consiste na linha M2, linha descontínua, separadora de vias de trânsito.

Na Figura 29 apresenta-se uma imagem de vista aérea do local do acidente obtida com recurso ao software Google Earth, com indicação da zona onde ocorreu o acidente e indicação do sentido de circulação dos veículos, assim como a indicação de um dos pontos de referência, as bombas de gasolina da Cepsa.



**Figura 28-Vista aérea do local do acidente, com indicação da zona onde terá ocorrido a colisão (local indicado pela seta) e sentido de circulação dos veículos intervenientes.**

## Croqui do acidente

Para o acidente em análise foi elaborado o croqui do acidente de viação que consta do auto de participação de acidente de viação realizado pela GNR de Faro. Este croqui não foi elaborado à escala.

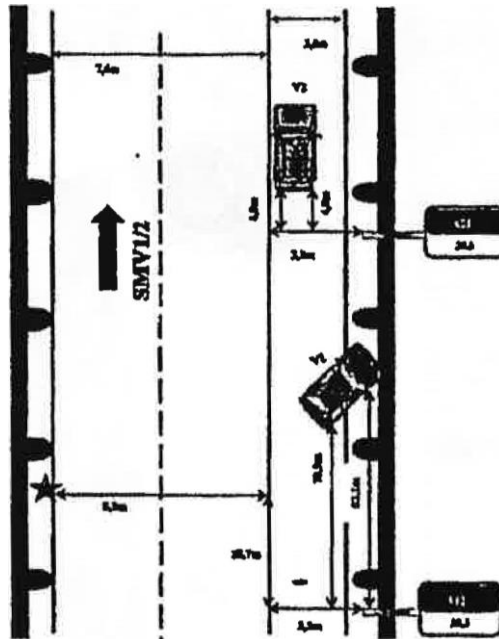
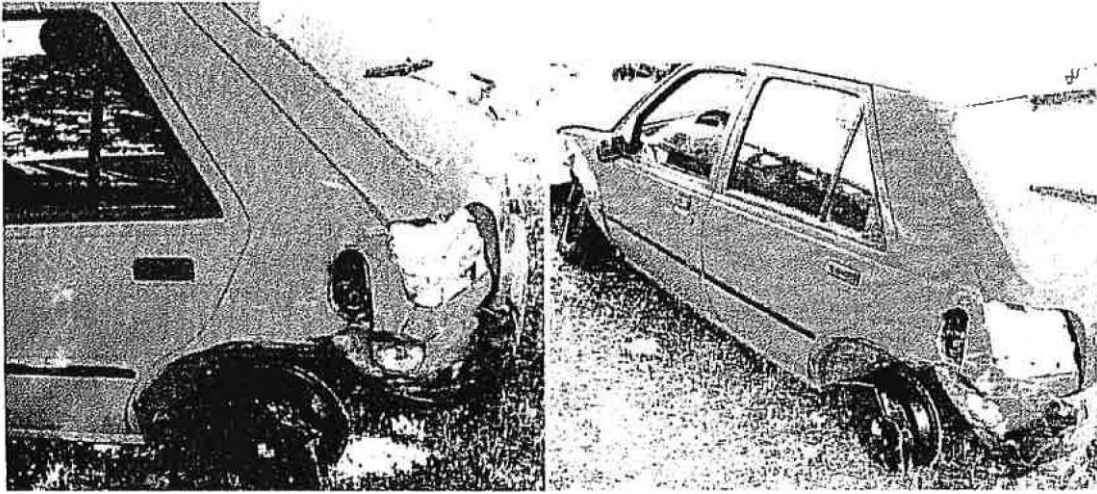


Ilustração 2-Croqui das posições finais dos veículos após o acidente.

Da análise deste croqui destacam-se os seguintes pontos:

- 1) No croqui é indicado que o mesmo não está elaborado à escala e as medidas apresentadas são em metros.
- 2) A posição final do veículo nº1 (Ford Fiesta) é indicada por V1, e a posição final do veículo nº2 (Citroen Berlingo) é indicada por V2, O sentido de marcha de ambos os veículos também está assinalado por SMV1/V2, junto de uma seta de sentido único.
- 3) O primeiro local de embate encontra-se assinalado por uma estrela.
- 4) Não são indicadas quaisquer marcas de travagem ou derrapagem no pavimento.

## Danos nos Veículos



**Figura 29-Danos provocados na traseira do lado esquerdo do veículo nº1, Ford Fiesta.**



**Figura 30-Danos do veículo nº1 na traseira e na parte frontal do veículo.**

Os danos do veículo nº1 que se observam nas figuras 30 e 31 são provocados por dois diferentes embates, sendo que o dano provocado na traseira foi provocado pela colisão do veículo nº1 com o veículo nº2, já o dano que aparece na frente do veículo é resultante do embate do veículo nº1 com os raides da via onde seguia após o contato deste com o veículo nº2.

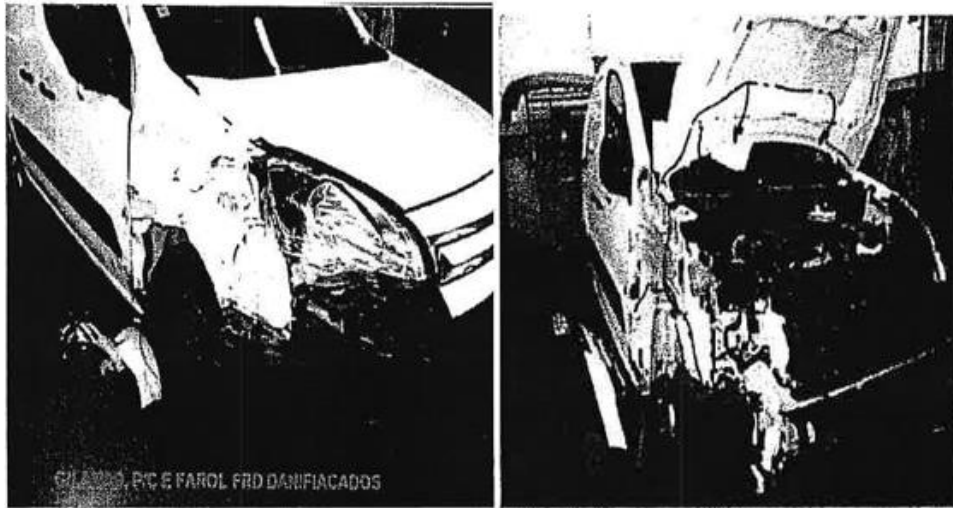


Figura 31-Danos no canto direito da frente do veículo nº2.

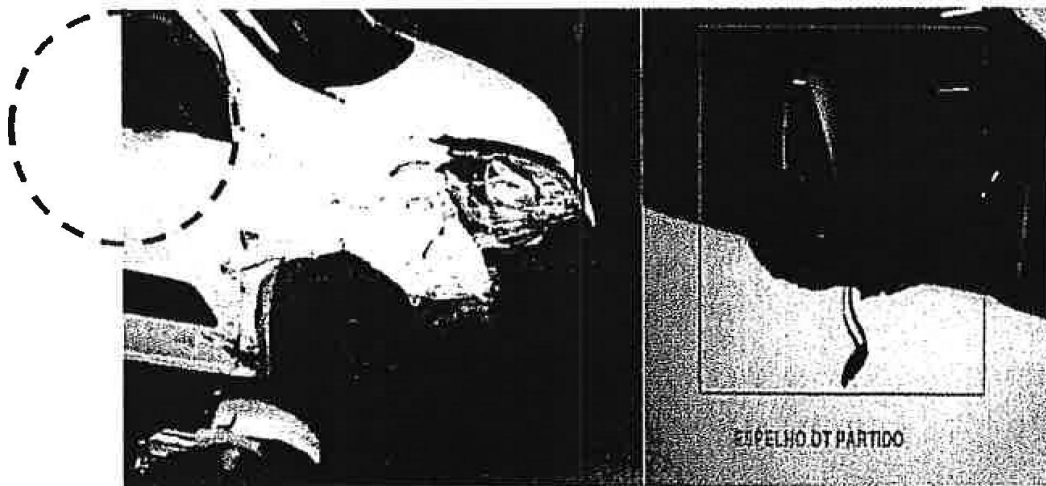


Figura 32-Danos no espelho direito do veículo nº2.

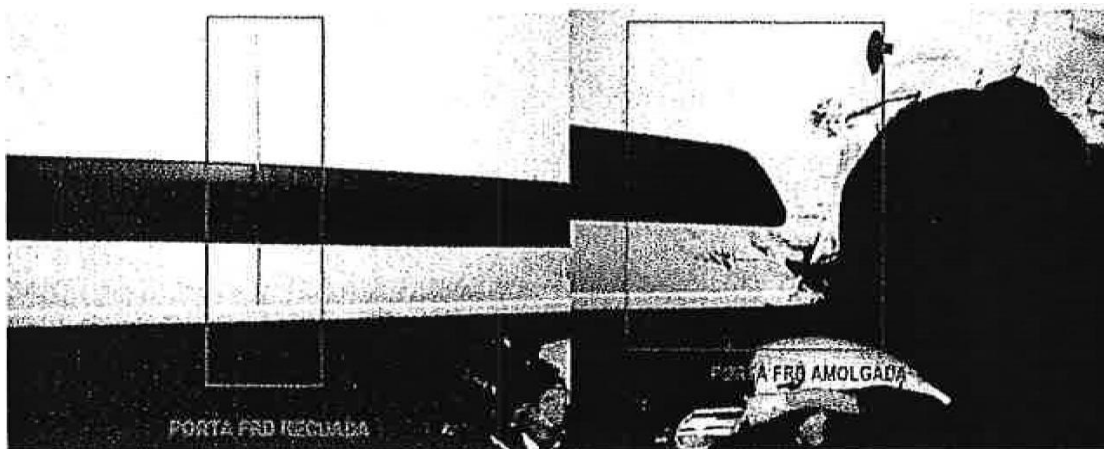


Figura 33-Danos na porta do lado direito do veículo nº2.

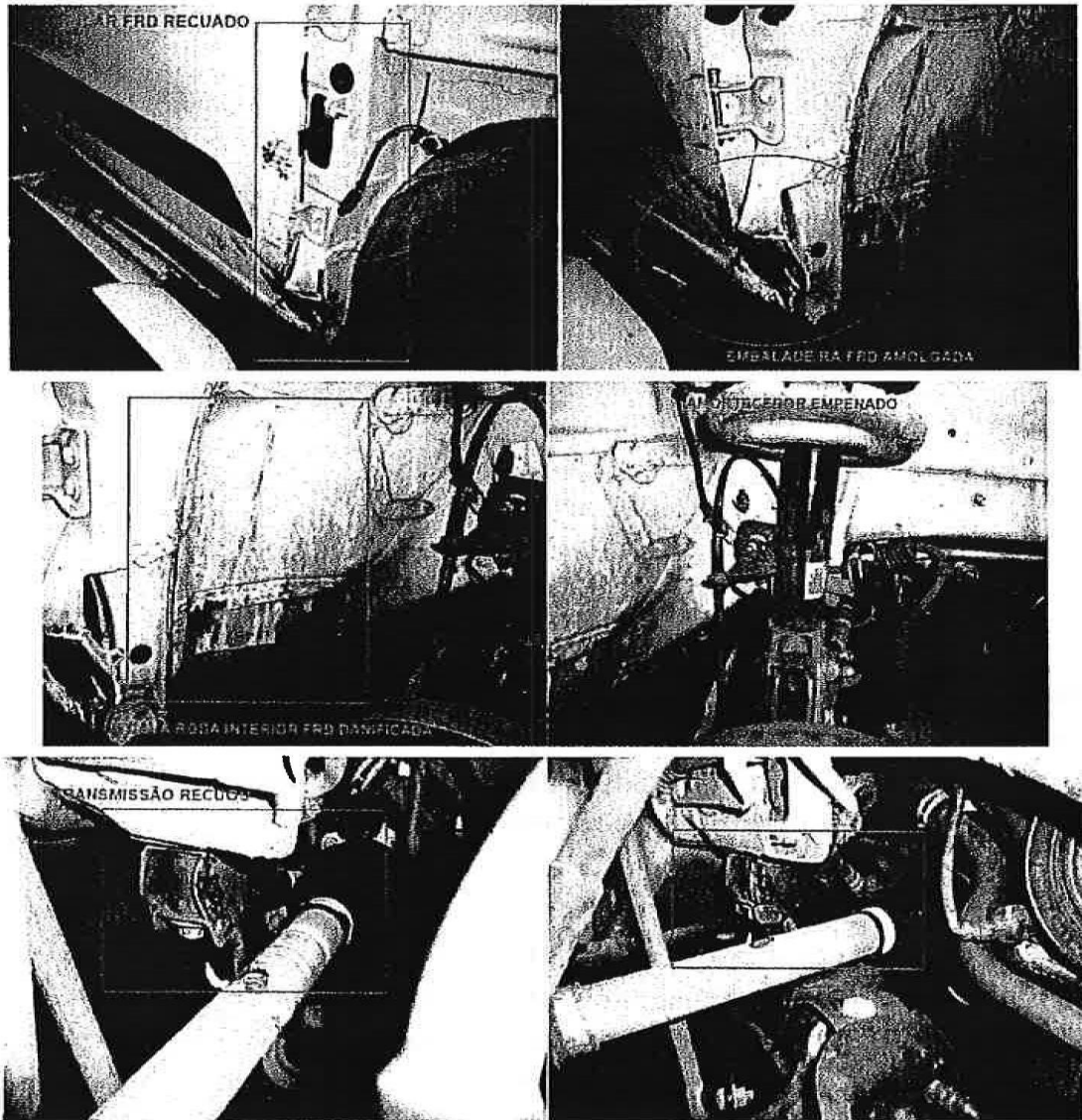


Figura 34-Danos no sistema de ficção e amortecimento da roda da frente do lado direito do veículo nº2.

Na Figura 32,33,34 e 35 são visíveis as deformações que o veículo nº2 — Citroen Berlingo sofreu nas zonas frontal e lateral direita. O farol lateral direito encontra-se partido e a roda dianteira direita parece estar alinhada com o eixo do carro, embora esteja também danificada. Pela Figura 12 verifica-se que o espelho direito se encontra partido, tendo ocorrido contacto com o mesmo.

## 6. Discussão

A análise das deformações dos veículos a partir das fotografias dos danos permite perceber que a colisão ocorreu tangencialmente, entre a zona frontal direita do veículo nº2 (Citroen Berlingo) e a zona traseira lateral esquerda do veículo nº1 (Ford Fiesta).

Relativamente aos danos no veículo nº1, Ford Fiesta, os danos na zona traseira e lateral esquerda são provenientes da colisão com o veículo nº2, enquanto os danos localizados na zona frontal do veículo nº1 devem-se ao embate posterior no separador central e nas guardas metálicas de segurança. A roda traseira lateral esquerda do veículo Ford Fiesta fica bloqueada tendo ocorrido a fratura da jante devido à colisão com o veículo Citroen Berlingo, enquanto as rodas dianteiras ficam danificadas devido ao impacto com o separador central.

A determinação das deformações/danos principais, conjugada com as análises efetuadas anteriormente, nomeadamente, do croqui e das fotografias do local do acidente são o ponto de partida para a reconstituição dinâmica do acidente, onde se poderão testar várias hipóteses com recurso à simulação computacional de diferentes cenários.