



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Engenharia

Análise de Dados de Sinistralidade Rodoviária nas Zonas em Obras

(Versão final após defesa)

Valdemiro Marques Trindade

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Civil
(Ciclo de estudos integrado)

Orientadora: Prof.^a Doutora Bertha Maria Batista dos Santos

Covilhã, novembro de 2017

À minha família.

Agradecimentos

A realização desta dissertação só foi possível graças ao contributo de algumas pessoas às quais não posso deixar de expressar os meus sinceros agradecimentos:

À minha orientadora, Prof.^a Dr.^a Bertha Santos, por me incentivar constantemente, pelas sugestões e conhecimentos transmitidos que contribuíram para o enriquecimento da minha formação. Durante este período o seu profissionalismo, disponibilidade e simpatia foram determinantes para que os objetivos fossem atingidos. Obrigado ainda pelo apoio prestado nos artigos publicados!

Ao Professor Jorge Gama pela assistência prestada na análise estatística.

Aos restantes professores do DECA e de outros departamentos que contribuíram para o enriquecimento da minha formação.

À Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária pelo fornecimento dos dados que serviram de base para o caso de estudo.

Aos meus amigos e colegas mais chegados de Engenharia Civil e de outros cursos, que me acompanharam nesta longa e dura caminhada. Obrigado pelo convívio, companheirismo e ajuda prestada durante todo o percurso académico.

Aos meus amigos da “terrinha”. Agradeço a vossa amizade e compreensão por ter estado mais ausente nesta fase. Um obrigado especial ao Adriano pela amizade que desde criança me acompanha.

Ao meu irmão “TóZé” que apesar da distância procurou sempre estar perto, incentivando-me nos momentos difíceis do meu percurso académico.

E por último aos mais importantes, os meus pais. Pelos valores transmitidos, pelo apoio e carinho demonstrados desde sempre e pelo esforço feito, sem o qual não teria sido possível chegar até aqui. Estarei sempre em dívida para convosco.

Resumo

Ao longo do seu período de vida, as infraestruturas rodoviárias são sujeitas a intervenções de conservação e de reabilitação que têm por objetivo manter determinados padrões de qualidade e segurança. Os locais onde decorrem estas intervenções são denominados de “zonas em obras” e constituem pontos sensíveis da rede em termos de sinistralidade. Nestes locais verificam-se alterações temporárias das condições de circulação oferecidas aos utentes (velocidades de circulação mais baixas, encerramento e/ou estreitamento de vias, manobras adicionais de mudança de via e presença de trabalhadores e equipamentos próximos da zona de circulação, entre outros), exigindo uma atenção especial por parte destes.

Tendo em conta as particularidades destas zonas, pretende-se com a presente dissertação identificar os fatores de risco com maior influência na sinistralidade verificada nas zonas em obras da rede rodoviária de Portugal Continental durante o triénio 2013-2015. Os dados utilizados na análise foram fornecidos pela Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária (ANSR) e a abordagem usada recorre a uma análise estatística exploratória e ao desenvolvimento de modelos de regressão logística binária por tipo de acidente (atropelamento, despiste simples, colisão traseira e colisão lateral), fator contribuinte (excesso de velocidade, obstáculo imprevisto, desrespeito da sinalização vertical e desrespeito da distância de segurança) e grupo etário dos condutores intervenientes (jovem, adulto e sénior). A interpretação das estimativas obtidas para a razão de chances das variáveis explicativas significativas permitiu identificar que fatores aumentam a probabilidade de ocorrência deste tipo de acidentes para cada modelo considerado.

Analisando os resultados obtidos é possível verificar que os fatores “meio urbano”, “circulação em marcha normal” e boas condições de “aderência” e de “luminosidade” apresentaram um impacto positivo num número significativo de modelos (aumentam a probabilidade de ocorrência do acidente).

A identificação destes fatores permitirá sustentar a escolha de medidas de segurança a implementar nestas zonas com vista a minimizar o risco de ocorrência de acidentes.

Palavras-chave

Segurança Rodoviária, Zonas em Obras, Segurança e Sinistralidade nas Zonas em Obras, Regressão Logística Binária.

Abstract

Over its lifetime, road infrastructures are subjected to maintenance and rehabilitation treatments which aim to maintain certain quality and safety standards. The areas where such actions take place are named “work zones”. Road work zones are considered sensible areas in terms of road safety since a temporary change in the traffic conditions provided to the drivers is verified (lower speed, lane closure and/or narrowing, additional lane change maneuvers, presence of workers and equipment, among others), requiring an additional awareness by the drivers in order to adapt themselves to the new driving conditions.

Considering the particularities of roadwork areas, it is intended with the current thesis to identify the most influent risk factors related to work zone crashes occurred in the Portuguese road network during the 2013-2015 period. The data used in the analysis was provided by the Portuguese Road Safety Authority (ANSR) and the adopted approach includes an exploratory statistical analysis and the development of binary logistic regression models by type of crash (pedestrian, run-off road, angle and rear-end), contributing factor (unexpected obstacle, excessive speed, disregard for vertical signs and disregard for safety distance) and driver age group (young, middle and elderly). The interpretation of the odds ratio obtained estimates for significant explanatory variables allowed to identify, for each considered model, the factors that increase the occurrence probability of these type of crashes.

By analyzing the obtained results, it is possible to conclude that the factors “urban environment”, “straight driving” and good “grip” and “luminosity” conditions had a positive impact in a significant number of models (increases the probability of occurrence of a crash).

The identification of such factors will allow to sustain the selection of safety measures to be implemented in work zones in order to minimize the occurrence risk of accidents.

Keywords

Road Safety, Work Zone, Work Zone Crashes and Safety, Binary Logistic Regression.

Índice

Capítulo 1 - Introdução	1
1.1 Enquadramento	3
A sinistralidade rodoviária em Portugal e na União Europeia	3
1.2 - Objetivo	8
1.3 - Metodologia	8
1.4 - Organização da dissertação.....	8
Capítulo 2 - Sinistralidade Rodoviária nas Zonas em Obras	11
2.1 - Zonas em Obras	13
2.2 - Esquemas de Zonas em Obras e Sinalização Temporária	14
2.3 - Sinistralidade rodoviária nas zonas em obras - Revisão bibliográfica	28
Capítulo 3 - Regressão Logística Binária	33
3.1. Introdução	35
3.2. Funções de ligação Logit e Probit	36
3.3. Método da Máxima Verosimilhança	37
3.4. Métodos de seleção de variáveis	38
3.4.1. Método de seleção Forward	38
3.4.2. Método de seleção Backward elimination	39
3.4.3. Método de seleção Fast backward elimination	39
3.4.4. Método de seleção Stepwise	39
3.4.5. Método de seleção Stepwise selection with fast backward elimination	39
3.5. Significância dos modelos.....	39
3.5.1 Teste Wald	40
3.5.2. Teste do Rácio de Verosimilhanças	40
3.5.3. Teste Score.....	42
3.6. Estimação do intervalo de confiança	42
3.7. Testes de ajuste dos modelos	43
3.7.1. Teste de ajuste Qui quadrado de Pearson e Deviance	44
3.7.2. Teste de ajuste Hosmer-Lemeshow.....	44
3.8. Regressão Logística Binária Aplicada à Análise de Dados de Sinistralidade Rodoviária	45
Capítulo 4 - Caso de Estudo: Sinistralidade Rodoviária nas Zonas em Obras em Portugal Continental	51
4.1 - Metodologia	53
4.2 - Análise estatística exploratória	54
4.2.1 - Caracterização geral.....	54
4.2.2 - Identificação do acidente.....	55
4.2.3 - Circunstâncias externas	59
4.2.4 - Natureza do acidente.....	69
4.2.5 - Veículos intervenientes	70
4.2.6 - Condutores intervenientes	71
4.2.7 - Consequências do acidente.....	74
4.3 - Modelos de Regressão Logística Binária	77
4.3.1 - Variáveis consideradas na modelação	77
4.3.2 - Modelos por tipo de acidente	79
4.3.2.1 - Modelos	79
4.3.2.2 - Análise e discussão de resultados - Natureza do acidente	83
4.3.3 - Modelos por fator contribuinte	84
4.3.3.1 - Modelos	84
4.3.3.2 - Análise e discussão de resultados - Fatores contribuintes.....	89
4.3.4 - Modelos por grupo etário dos condutores.....	90
4.3.4.1 - Modelos	90
4.3.4.2 - Análise e discussão de resultados - Grupo etário dos condutores	94
4.4 - Análise comparativa dos resultados obtidos com as funções de ligação logit e probit	95
4.5 - Análise global dos resultados.....	99
Capítulo 5 - Conclusões e Trabalho Futuro	103
Referências Bibliográficas	108
Anexos	110

Lista de Figuras

Figura 1 - Evolução do número de vítimas mortais nas estradas da União Europeia e objetivo traçado para o ano horizonte (Comissão Europeia 2011)	4
Figura 2 - Evolução do número de vítimas mortais por milhão de habitante em Portugal (Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária 2016).....	5
Figura 3 - Número de vítimas mortais por milhão de habitante em cada estado-membro da União Europeia, 2015. Adaptado de (Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária 2016)	5
Figura 4 - Evolução do número de vítimas mortais e feridos graves em Portugal entre 2006 e 2015 (Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária 2016)	6
Figura 5 - Distribuição do nº de acidentes dentro e fora das zonas em obras em Portugal Continental. (Santos et al. 2017)	7
Figura 6 - Exemplos de sinalização de aproximação (Junta Autónoma de Estradas 1997a; b) .	16
Figura 7 - Exemplos de dispositivos complementares (sinalização de posição) (Junta Autónoma de Estradas 1997a; b)	16
Figura 8 - Exemplos de sinalização temporária final (Junta Autónoma de Estradas 1997a; b)	16
Figura 9 - Esquema-tipo da implantação de sinalização temporária num troço em obras (Junta Autónoma de Estradas 1997a)	17
Figura 10 - Colocação de biséis para corte da via direita na presença de trabalhos fixos (Junta Autónoma de Estradas 1997a)	19
Figura 11 - Perigo temporário na via com circulação alternada (Junta Autónoma de Estradas 1997a).....	19
Figura 12 - Trabalhos na via com estreitamento forte das vias (Junta Autónoma de Estradas 1997a).....	20
Figura 13 - Trabalhos móveis a decorrer na via direita (Junta Autónoma de Estradas 1997a) .	21
Figura 14 - Colocação de biséis na via direita na presença de trabalhos fixos (Junta Autónoma de Estradas 1997b)	21
Figura 15 - Perigo temporário na via numa situação de acidente (Junta Autónoma de Estradas 1997b).....	22
Figura 16 - Mudança temporária de faixa de rodagem devido à ocorrência de trabalhos fixos na totalidade de uma das faixas de rodagem (Junta Autónoma de Estradas 1997b)	23
Figura 17 - Trabalhos móveis na via esquerda (Junta Autónoma de Estradas 1997b)	24
Figura 18 - Esquema-tipo da delimitação de uma zona em obras segundo o FHWA (Federal Highway Administration 2009).....	25
Figura 19 - Comprimentos de bisel ao longo de uma zona em obras (Federal Highway Administration 2009)	27

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Distâncias a adotar entre sinais em função da velocidade. Adaptado de (Junta Autónoma de Estradas 1997a; b).....	18
Tabela 2 - Distâncias entre sinais na área de aproximação em função da velocidade (Federal Highway Administration 2009).....	26
Tabela 3 - Fórmulas de cálculo do comprimento do bisel (Federal Highway Administration 2009).....	26
Tabela 4 - Proporção de condutores/veículos envolvidos e acidentes com o campo B4.3 incorretamente preenchido (“Não definido”).....	55
Tabela 5 - Secção A - Identificação do acidente: resumo dos fatores predominantes.....	59
Tabela 6 - Secção B - Circunstâncias externas: resumo dos fatores predominantes.....	68
Tabela 7 - Secção E - Condutores intervenientes: resumo dos fatores predominantes.....	73
Tabela 8 - Secção F - Consequências do acidente: resumo dos fatores predominantes.....	76
Tabela 9 - Variáveis dependentes e explicativas usadas na modelação dos acidentes.....	78
Tabela 10 - Parâmetros estimados para o modelo dos acidentes do tipo atropelamento de peões.....	79
Tabela 11 - Parâmetros estimados para o modelo dos acidentes do tipo despiste simples....	80
Tabela 12 - Parâmetros estimados para o modelo dos acidentes do tipo colisão lateral.....	81
Tabela 13 - Parâmetros estimados para o modelo dos acidentes do tipo colisão traseira.....	82
Tabela 14 - Parâmetros estimados para o modelo dos fatores contribuintes: Excesso de velocidade para as condições existentes.....	85
Tabela 15 - Parâmetros estimados para o modelo dos fatores contribuintes: Obstáculo imprevisto na faixa de rodagem.....	86
Tabela 16 - Parâmetros estimados para o modelo dos fatores contribuintes: Desrespeito da distância de segurança.....	87
Tabela 17 - Parâmetros estimados para o modelo dos fatores contribuintes: Desrespeito da sinalização vertical.....	88
Tabela 18 - Parâmetros estimados para o modelo dos grupos etários dos condutores envolvidos: Jovem.....	91
Tabela 19 - Parâmetros estimados para o modelo dos grupos etários dos condutores envolvidos: Adulto.....	92
Tabela 20 - Parâmetros estimados para o modelo dos grupos etários dos condutores envolvidos: Sénior.....	93
Tabela 21 - Parâmetros estimados pelas funções logit e probit para os modelos por tipo de acidente.....	96
Tabela 22 - Parâmetros estimados pelas funções logit e probit para os modelos por fator contribuinte.....	97
Tabela 23 - Parâmetros estimados pelas funções logit e probit para os modelos por grupo etário dos condutores.....	98
Tabela 24 - Resumo do impacto (odds ratio) de cada variável explicativa nos modelos desenvolvidos.....	102

Lista de Gráficos

Gráfico 1 - Nº de acidentes ocorridos em zonas com obstáculos ou em obras por Período do Dia (2013-2015)	55
Gráfico 2 - Percentagem de acidentes ocorridos em zonas com obstáculos ou em obras por Período do Dia (2013-2015)	55
Gráfico 3 - Nº de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por Dia da Semana (2013-2015)	56
Gráfico 4 - Percentagem de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou obras por Dia da Semana (2013-2015).....	56
Gráfico 5 - Nº de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por Mês (2013-2015)	56
Gráfico 6 - Percentagem de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por Mês entre (2013-2015).....	56
Gráfico 7 - Nº de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por Localização (2013-2015)	57
Gráfico 8 - Percentagem de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por Localização (2013-2015)	57
Gráfico 9 - Nº de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras distrito (2013-2015)	57
Gráfico 10 - Percentagem de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por distrito (2013-2015)	57
Gráfico 11 - Nº de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras dentro e fora das localidades para os períodos noturnos e diurnos (2013-2015)	58
Gráfico 12 - Percentagem de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras dentro e fora das localidades para os períodos noturnos e diurnos (2013-2015)	58
Gráfico 13 - Nº de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por Características Técnicas da Via (2013-2015)	59
Gráfico 14 - Percentagem de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por Características Técnicas da Via (2013-2015).....	59
Gráfico 15 - Nº de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por Traçado da Via em Planta (2013-2015)	60
Gráfico 16 - Percentagem de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por Traçado da Via em Planta (2013-2015)	60
Gráfico 17 - Nº de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por Traçado da Via em Perfil (2013-2015)	60
Gráfico 18 - Percentagem de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por Traçado da Via em Perfil (2013-2015).....	60
Gráfico 19 - Nº de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por Interseção de Vias (2013-2015)	61
Gráfico 20 - Percentagem de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por Interseção de Vias (2013-2015).....	61
Gráfico 21 - Nº de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por interseção de vias dentro e fora das localidades (2013-2015).....	61

Gráfico 22 - Percentagem de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por interseção de vias dentro e fora das localidades (2013-2015).....	62
Gráfico 23 - Nº de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por estado de conservação do pavimento (2013-2015)	62
Gráfico 24 - Percentagem de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por estado de conservação do pavimento (2013-2015)	62
Gráfico 25 - Nº de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por condições de aderência do pavimento (2013-2015)	63
Gráfico 26 - Percentagem de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por condições de aderência do pavimento (2013-2015)	63
Gráfico 27 - Nº de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por Obstáculos ou Obras (2013-2015)	64
Gráfico 28 - Percentagem de acidentes ocorridos em zonas de em obstáculos ou obras por Obstáculos ou Obras (2013-2015)	64
Gráfico 29 - Nº de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por Sinalização: Marcas no pavimento (2013-2015)	65
Gráfico 30 - Percentagem de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por Sinalização: Marcas no pavimento (2013-2015)	65
Gráfico 31 - Nº de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por Sinalização: Sinalização Luminosa (2013-2015)	65
Gráfico 32 - Percentagem de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por Sinalização: Sinalização Luminosa (2013-2015)	65
Gráfico 33 - Nº de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por Sinalização luminosa para os períodos noturno e diurno (2013-2015)	66
Gráfico 34 - Percentagem de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por Sinalização luminosa para os períodos noturno e diurno (2013-2015).....	66
Gráfico 35 - Nº de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por Sinais existentes no local (2013-2015).....	66
Gráfico 36 - Percentagem de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por Sinais existentes no local (2013-2015)	66
Gráfico 37 - Nº de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por Luminosidade entre (2013-2015).....	67
Gráfico 38 - Percentagem de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por Luminosidade entre (2013-2015).....	67
Gráfico 39 - Nº de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por Fatores atmosféricos entre (2013-2015).....	67
Gráfico 40 - Percentagem de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por Fatores atmosféricos entre (2013-2015).....	67
Gráfico 41 - Nº de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por Natureza do acidente (2013-2015)	69
Gráfico 42 - Percentagem de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por Natureza do acidente (2013-2015)	69
Gráfico 43 - Nº de veículos envolvidos em acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por classe (2013-2015)	70
Gráfico 44 - Percentagem de veículos envolvidos em acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por classe (2013-2015)	70
Gráfico 45 - Nº de condutores envolvidos em acidentes nas zonas de obstáculos ou em obras por grupo etário (2013-2015)	71

Gráfico 46 - Percentagem de condutores envolvidos em acidentes nas zonas de obstáculos ou em obras por grupo etário (2013-2015)	71
Gráfico 47 - Ações e manobras praticadas nos acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por Ações e manobras antes do acidente (2013-2015)	72
Gráfico 48 - Ações e manobras praticadas nos acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por Ações e manobras antes do acidente (2013-2015)	72
Gráfico 49 - Informações complementares a Ações e manobras praticadas pelos condutores antes do acidente (2013-2015)	72
Gráfico 50 - Informações complementares a Ações e manobras praticadas pelos condutores antes do acidente (2013-2015)	73
Gráfico 51 - Nº de vítimas registadas nos acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras (2013-2015)	74
Gráfico 52 - Percentagem de vítimas registadas nos acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras (2013-2015)	74
Gráfico 53 - Ações de peões nos acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras entre (2013-2015)	75
Gráfico 54 - Ações de peões nos acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras entre (2013-2015) (em percentagem)	75
Gráfico 55 - Utilização de material refletor nos acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras para os períodos diurno e noturno entre (2013-2015)	75
Gráfico 56 - Utilização de material refletor nos acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras para os períodos diurno e noturno (2013-2015) (percentagem)	75

Lista de Acrónimos

ANSR	Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária
ARROWS	Advanced Research on Road Work Zone Safety Standards in Europe
BEAV	Boletim Estatístico de Acidentes de Viação
CAR	Crash Analysis Reporting
ENSR	Estratégia Nacional de Segurança Rodoviária
FHWA	Federal Highway Administration
FORMAT	Fully Optimized Road Maintenance
JAE	Junta Autónoma de Estradas
KARS	Kentucky Accident Reporting System
KDOT	Kansas Department of Transportation
km/h	Quilómetro por hora
m	Metro
MUTCD	Manual on Uniform Traffic Control Devices
OMS	Organização Mundial de Saúde
PENSE	Plano Estratégico Nacional de Segurança Rodoviária
PISER	Plano Integrado de Segurança Rodoviária
PNPR	Plano Nacional de Prevenção Rodoviária
SAS	Statistics Analysis Software
TDOT	Tennessee Department of Transportation
UE	União Europeia

Capítulo 1 - Introdução

Capítulo 1 - Introdução

1.1 - Enquadramento: A sinistralidade rodoviária em Portugal e na União Europeia

1.2 - Objetivo

1.3 - Metodologia

1.4 - Organização da dissertação

Capítulo 1 - Introdução

1.1 Enquadramento

A sinistralidade rodoviária em Portugal e na União Europeia

A sinistralidade rodoviária é uma das principais causas de morte em todo mundo. Segundo o relatório anual de 2015 da Organização Mundial de Saúde (Organização Mundial de Saúde 2015), anualmente cerca de 1,25 milhões de pessoas perdem a vida em acidentes rodoviários em todo o mundo, valor que tem vindo a estabilizar desde 2007. O relatório aponta ainda a sinistralidade rodoviária como principal causa de morte entre a população jovem mundial com idades entre os 15 e os 29 anos. Devido à elevada taxa de mortalidade verificada, este tema é uma das principais preocupações das entidades governamentais e da comunidade científica, as quais encetam esforços com vista a baixar o número de acidentes rodoviários nas estradas e consequentemente o número de vítimas. Nesse sentido, a Comissão Europeia desenvolveu em 2011 o documento (“Rumo a um espaço europeu de segurança rodoviária”) com orientações para a política de segurança rodoviária europeia tendo como principal objetivo, até 2020 reduzir em 50% o número de vítimas mortais nas estradas da União Europeia em relação ao número verificado em 2010 (Comissão Europeia 2011). Para esse efeito, pretende-se aumentar a segurança dos utentes, dos veículos e das infraestruturas através da delineação de um conjunto de objetivos estratégicos: melhorar a educação e a formação dos utentes da estrada, intensificar o cumprimento do código da estrada, promover uma infraestrutura mais segura, veículos mais seguros e promover a utilização de novas tecnologias para reforçar a segurança rodoviária.

Na Figura 1, é possível verificar que as políticas de segurança rodoviária adotadas pela Comissão Europeia desde 2001 para reduzir o número de vítimas mortais nas estradas foram eficazes (entre 2001 e 2015, o número de vítimas mortais baixou em quase 50%), contudo a partir de 2010, o número de vítimas mortais tem estado acima do objetivo traçado, com tendência a estabilizar, como se pode verificar nos últimos três anos.

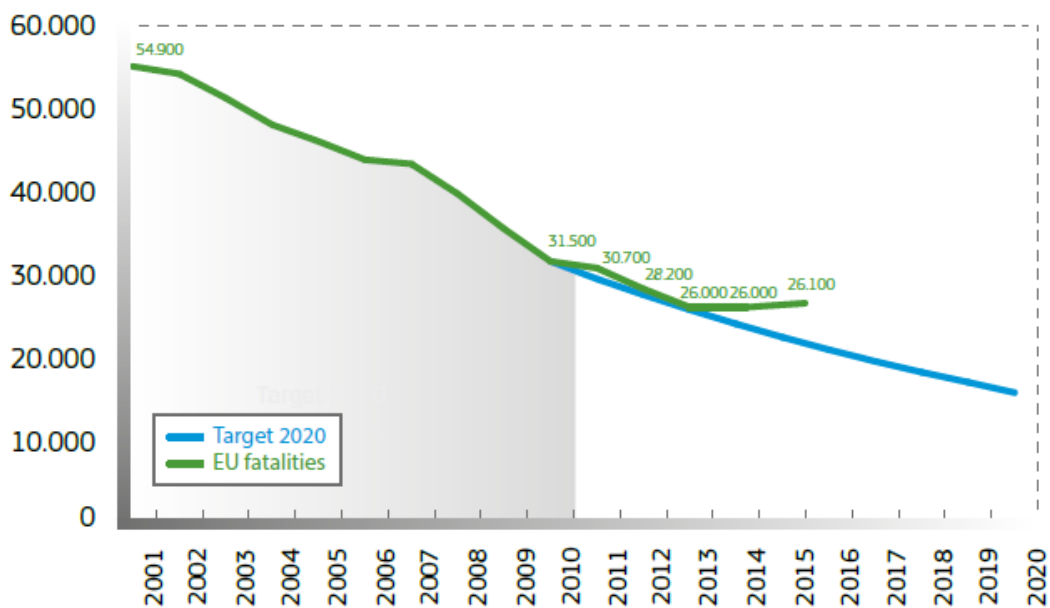


Figura 1 - Evolução do número de vítimas mortais nas estradas da União Europeia e objetivo traçado para o ano horizonte (Comissão Europeia 2011)

No caso de Portugal, em conformidade com os resultados obtidos a nível europeu, a taxa de sinistralidade rodoviária tem vindo a diminuir significativamente. Desde o final da década de 90 do século passado, foram desenvolvidos modelos com políticas de combate à sinistralidade rodoviária nomeadamente, o Plano Integrado de Segurança Rodoviária (PISER) entre 1998 e 2000, o Plano Nacional de Prevenção Rodoviária (PNPR) para o período de 2003 a 2010 e a Estratégia Nacional de Segurança Rodoviária (ENSR) entre 2008 e 2015. Atualmente está em vigor desde 2016, o Plano Estratégico Nacional de Segurança Rodoviária (PENSE 2020) da responsabilidade da Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária (ANSR). Este plano assume como principal meta, a diminuição em 56% do número de vítimas mortais nas estradas portuguesas até 2020 face ao número verificado em 2010 (Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária 2016). A Figura 2 mostra que em Portugal, entre 2006 e 2015, o número de vítimas mortais por milhão de habitantes baixou significativamente, passando de 108 para 60 (redução de 44%), o que comprova a eficácia das medidas sustentadas nas políticas de combate à sinistralidade rodoviária.

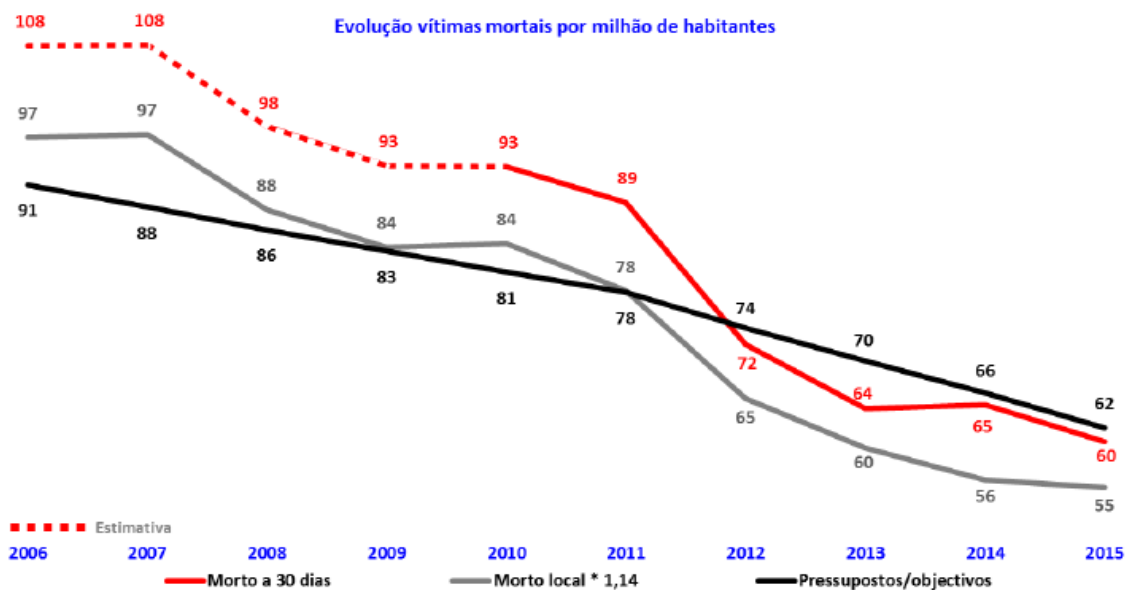


Figura 2 - Evolução do número de vítimas mortais por milhão de habitante em Portugal (Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária 2016)

A nível europeu, Figura 3 mostra o número de vítimas mortais por milhão de habitantes em cada estado membro da União Europeia no ano de 2015.

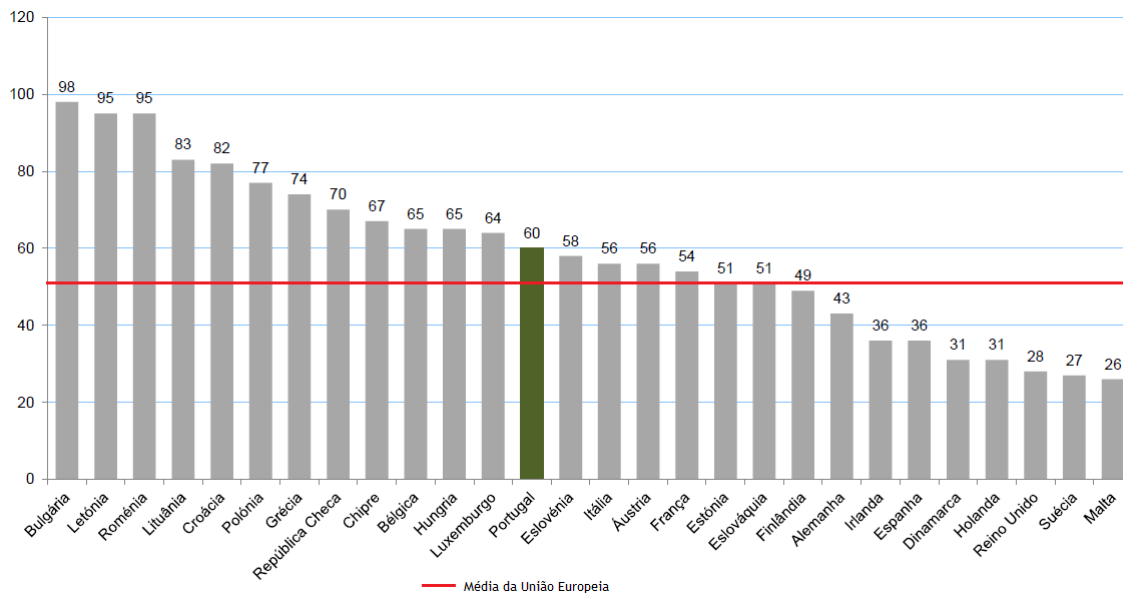


Figura 3 - Número de vítimas mortais por milhão de habitante em cada estado-membro da União Europeia, 2015. Adaptado de (Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária 2016)

Portugal foi o país da União Europeia com maior redução (37%) do número de vítimas mortais por milhão de habitantes no período compreendido entre 2010 e 2015. Contudo, através da Figura 3 é possível verificar que o número de vítimas mortais por milhão de habitantes em Portugal no final do período de análise, ficou acima da média da União Europeia (51,5 vítimas

mortais por milhão de habitantes), estando ainda longe de alcançar os valores dos países com melhores registos de segurança rodoviária: Malta, Suécia e Reino Unido (Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária 2016).

A Figura 4 demonstra a evolução do número de vítimas mortais a 30 dias e feridos graves em Portugal entre 2006 e 2015.

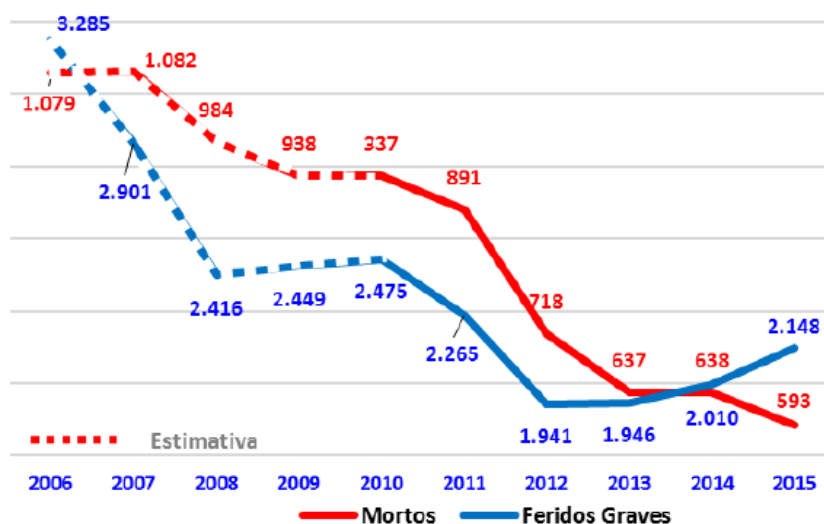


Figura 4 - Evolução do número de vítimas mortais e feridos graves em Portugal entre 2006 e 2015 (Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária 2016)

Em relação ao número de feridos graves, ao analisar a Figura 4 verifica-se uma tendência decrescente até 2012. Contudo, a partir dessa data o número de vítimas tem aumentado, algo que deve ser objeto de reflexão.

A sinistralidade rodoviária nas zonas em obras

Os fatores que mais contribuem para a ocorrência de acidentes rodoviários estão relacionados com o veículo, o condutor e a infraestrutura. O presente estudo visa analisar, enquadrado essencialmente nos fatores relacionados com a infraestrutura, a ocorrência de acidentes rodoviários nos locais da estrada onde decorrem trabalhos de construção, de manutenção ou de reabilitação, pois estes representam um fator de risco na infraestrutura rodoviária.

Em Portugal, o registo deste tipo de acidentes é feito no campo B4.3 do Boletim Estatístico de Acidentes de Viação (BEAV), “Obstáculos ou Obras”, que inclui as seguintes opções de preenchimento: “inexistentes”, “não sinalizados”, “insuficientemente sinalizados” e “corretamente sinalizados”. O seu preenchimento é da responsabilidade das autoridades presentes no local do acidente.

Os acidentes nestes locais representam cerca de 2 a 3% do total de acidentes ocorridos em Portugal e têm verificado uma tendência decrescente nos últimos anos (ver Figura 5). Tal tendência pode dever-se a uma redução do investimento na manutenção e na reabilitação das infraestruturas rodoviárias devido à crise financeira nacional, uma vez que o número de acidentes fora destas zonas não segue a mesma tendência.

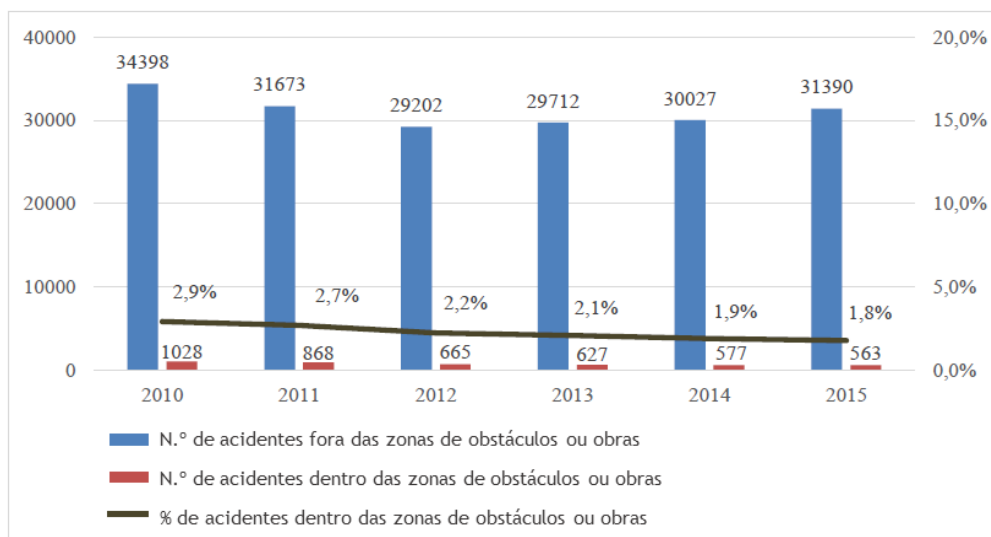


Figura 5 - Distribuição do nº de acidentes dentro e fora das zonas em obras em Portugal Continental. (Santos et al. 2017)

Estes valores são da mesma ordem de grandeza dos valores obtidos em várias investigações efetuadas sobre este tipo de acidentes a nível internacional, como o projeto ARROWS (*Advanced Research on Road Work Zone Safety Standards in Europe*) e o projeto FORMAT (*Fully Optimised Road Maintenance*).

Entre 1996 e 1998, a Comissão Europeia financiou o projeto ARROWS. Este projeto concluiu que os acidentes rodoviários ocorridos nas zonas em obras representam 2 a 3% do total de acidentes (ARROWS 1998).

Mais recentemente, o projeto FORMAT, que contou com a participação de 20 entidades de 14 países europeus e ainda com representantes dos Estados Unidos, foi desenvolvido com o objetivo de melhorar a eficiência e a segurança da rede rodoviária europeia fornecendo meios para reduzir o número, a duração e a dimensão das zonas de trabalho rodoviárias de modo a reduzir ao máximo o incómodo proporcionado aos utentes (FORMAT 2005). Este estudo indica que para a rede rodoviária europeia considerada (países envolvidos no estudo), os acidentes nas zonas em obras representam menos de 2% do total de acidentes, verificando-se valores de 3 a 5% para o caso particular das infraestruturas do tipo autoestradas.

Valores idênticos foram obtidos nos Estados Unidos, onde entre 2002 e 2010, a taxa de acidentes com vítimas mortais ocorridos nas zonas em obras diminuiu de 3,1% para 1,7% do total de acidentes, indicando melhorias na segurança destes locais (Debnath et al. 2017).

Apesar de muitos países habitualmente recolherem dados acerca do número de acidentes ocorridos nas zonas em obras, a informação acerca destes acidentes, é ainda pouco detalhada. A falta de dados acerca da exposição destes locais (densidade/duração dos trabalhos, comprimento da zona em obras, e fluxo de tráfego), não permite a obtenção do aumento do risco associado a estes locais.

1.2 - Objetivo

A presente dissertação tem como objetivo identificar os principais fatores que contribuem para a ocorrência de acidentes rodoviários nas zonas das estradas em obras, através de uma análise estatística dos dados oficiais dos acidentes ocorridos em Portugal continental, durante o triénio de 2013 a 2015. Para atingir o objetivo proposto, a análise estatística foi efetuada com recurso a modelos de regressão logística binária por tipo de acidente, fatores contribuintes e grupo etário dos condutores. A identificação destes fatores permitirá aos engenheiros da área rodoviária sustentar a definição de estratégias, práticas e metodologias de segurança a ser implementadas para combater a sinistralidade nestes locais.

1.3 - Metodologia

Para atingir os objetivos propostos, em primeiro lugar foi efetuada uma revisão bibliográfica com vista ao enquadramento no tema e sustentação das fases seguintes do trabalho. Numa segunda fase foi preparada a base de dados a partir da informação fornecida pela Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária (ANSR), o que permitiu selecionar e organizar um conjunto de dados, incluindo as variáveis necessárias à análise estatística. Posteriormente, procedeu-se ao desenvolvimento do caso de estudo que consiste na análise estatística exploratória dos dados e no desenvolvimento de modelos de regressão logística binária para a identificação dos fatores de risco com maior probabilidade de influenciar a ocorrência de acidentes nas zonas em obras.

1.4 - Organização da dissertação

O presente documento encontra-se organizado em cinco capítulos, sendo estes:

Capítulo 1 - Introdução;

Capítulo 2 - Sinistralidade Rodoviária nas Zonas em Obras;

Capítulo 3 - Regressão Logística Binária;

Capítulo 4 - Caso de estudo: Sinistralidade Rodoviária nas Zonas em Obras em Portugal Continental;

Capítulo 5 - Conclusões e Trabalho Futuro.

O presente capítulo apresenta um enquadramento geral relativo à evolução dos números da sinistralidade rodoviária em Portugal e no estrangeiro (geral e nas zonas em obras), os objetivos propostos, a metodologia adotada para alcançar esses objetivos, e por fim, a organização do presente documento.

O capítulo 2 está dividido em três subcapítulos: zonas em obras, esquemas de zonas em obra e sinalização temporária e revisão bibliográfica. O primeiro subcapítulo é dedicado à compreensão do conceito de zona em obras numa infraestrutura rodoviária. O segundo subcapítulo realça a importância de uma adequada delimitação e sinalização destes locais, apresentando esquemas-exemplos da delimitação, tipo e disposição dos dispositivos de sinalização temporária para trabalhos efetuados na faixa de rodagem. Finalmente, o terceiro subcapítulo é dedicado a uma revisão bibliográfica de documentos e artigos científicos com foco na interpretação de dados de sinistralidade de zonas em obras.

O capítulo 3 apresenta, numa primeira parte, uma descrição da técnica de regressão logística como abordagem a utilizar na modelação de uma ocorrência, nomeadamente através da descrição do método, das suas propriedades e dos princípios em que se baseia para estimar os resultados. Este capítulo termina com uma revisão bibliográfica acerca da aplicação deste método estatístico em estudos anteriores.

No capítulo 4 é apresentado o caso de estudo. Este capítulo inicia com um tratamento de dados no qual foram desenvolvidas duas bases de dados. De seguida, é apresentada uma análise estatística exploratória que inclui um diagnóstico dos acidentes ocorridos nas zonas em obras. Com base nesse diagnóstico e na bibliografia consultada, é apresentada uma seleção de variáveis que posteriormente serão utilizadas para o desenvolvimento de modelos de regressão logística binária com vista a identificar que fatores aumentam a probabilidade de ocorrência deste tipo de acidentes. Este capítulo termina com uma análise comparativa dos resultados obtidos no desenvolvimento dos modelos logísticos e *probit* e ainda com uma análise global dos resultados obtidos nos modelos.

O capítulo 5 apresenta as principais conclusões do trabalho desenvolvido, assim como propostas para trabalhos futuros.

Capítulo 2 - Sinistralidade Rodoviária nas Zonas em Obras

Capítulo 2 - Sinistralidade Rodoviária nas Zonas em Obras

2.1 - Zonas em Obras

2.2 - Esquemas de Zonas em Obras e Sinalização
Temporária

2.3 - Sinistralidade Rodoviária nas Zonas em Obras -
Revisão Bibliográfica

Capítulo 2 - Sinistralidade Rodoviária nas Zonas em Obras

2.1 - Zonas em Obras

A rede rodoviária é uma infraestrutura vital no desenvolvimento de qualquer país, uma vez que garante a mobilidade de pessoas e veículos, bem como o transporte de mercadorias. Em Portugal, a rede rodoviária nacional encontra-se praticamente construída, pelo que, a atenção das entidades gestoras está essencialmente focada na manutenção destas infraestruturas (F. Branco, P. Pereira 2016).

De forma a preservar os seus padrões de segurança e conforto, é necessário identificar e localizar atempadamente anomalias presentes nas várias componentes da infraestrutura (nomeadamente taludes, órgãos de drenagem, obras de arte, pavimentos, sinalização, etc...), para posteriormente intervir com ações de reabilitação ou manutenção devidamente programadas. As intervenções nos pavimentos constituem uma parte muito importante das ações de manutenção e reabilitação necessárias para garantir a prestação de um serviço adequado aos utentes.

Tais intervenções requerem a definição e a delimitação de zonas em obras na faixa de rodagem ou na sua proximidade. Estes locais representam pontos sensíveis na infraestrutura rodoviária ao nível da sinistralidade, uma vez que são temporariamente alteradas as condições de circulação oferecidas aos utentes, com consequências ao nível da segurança e da qualidade do serviço prestado. A necessidade de praticar velocidades baixas, o estreitamento das vias, a presença de trabalhadores e equipamentos de obra, eventuais obstáculos imprevistos na via, a alteração da sinalização e a necessidade de mudança de via ou de faixa de rodagem, são algumas das situações que podem ocorrer. É por isso essencial que estes locais estejam corretamente e eficazmente sinalizados de forma a alertar e adaptar o comportamento dos utentes às novas condições de circulação, garantindo assim a sua segurança, bem como a dos trabalhadores presentes na faixa de rodagem.

Segundo o *Federal Highway Administration* (FHWA), uma zona em obras refere-se à área da via ou da faixa de rodagem onde ocorrem trabalhos de conservação, manutenção ou construção. Uma zona em obras é tipicamente delimitada por sinalização vertical específica, dispositivos de canalização, como barreiras e cones, marcações no pavimento e veículos de trabalho. Podem ainda incorporar dispositivos de controlo de tráfego com o objetivo de melhorar as condições de circulação e fluidez do tráfego. A sua extensão é considerada igual ao comprimento compreendido entre o primeiro sinal de alerta de aproximação e o último dispositivo de controlo do tráfego (Federal Highway Administration 2007).

A definição adotada pelo projeto europeu ARROWS considera estas zonas como os locais da infraestrutura rodoviária que se encontram sobre a influência de trabalhos de manutenção e reabilitação que decorrem na própria infraestrutura ou na sua proximidade. As zonas em obras são consideradas áreas que abrangem mais do que apenas o local onde efetivamente decorrem os trabalhos, incorporando também as áreas ocupadas pela sinalização de aviso e delimitação, *buffers* de segurança, a área da zona de trabalhos e a corrente de tráfego que se desloca no sentido contrário. Para cada local afetado pela realização de obras são consideradas, no sentido de circulação do tráfego, três áreas distintas: a área de aproximação, a área de transição e área de término (ARROWS 1998).

2.2 - Esquemas de Zonas em Obras e Sinalização Temporária

A Junta Autónoma de Estradas (JAE) desenvolveu e publicou um manual de sinalização temporária com indicações e procedimentos acerca da sinalização, delimitação e disposição das zonas em obras. Este manual é dividido em duas partes: uma primeira dedicada aos casos de trabalhos na via em infraestruturas de uma faixa de rodagem e a segunda para infraestruturas com dupla faixa de rodagem [(Junta Autónoma de Estradas 1997a);(Junta Autónoma de Estradas 1997b)].

Este manual classifica estes locais em zonas de trabalhos fixos e zonas de trabalhos móveis. São considerados trabalho fixos, todas as tarefas devidamente programadas que, implicam o condicionamento do tráfego. Estas tarefas, incluem trabalhos como a manutenção de juntas de dilatação de obras de arte, reparações localizadas de pavimentos e outras com carácter previsível. Os trabalhos móveis são aqueles que, sendo programados, têm uma zona móvel de trabalhos em que a velocidade de progressão é baixa, podendo constituir perigo para a circulação. Estes trabalhos incluem tarefas como a marcação rodoviária, a observação do estado dos pavimentos e outras tarefas que impliquem um avanço contínuo das zonas de trabalho. Para além destes dois casos, o manual incorpora ainda indicações para o tratamento de situações de perigo temporário, como é o caso dos obstáculos ocasionais provenientes das situações de acidentes rodoviários e outras.

A sinalização temporária usada nestas zonas, tem como objetivo garantir a segurança dos utentes e dos trabalhadores quando existem situações anómalas na infraestrutura rodoviária. No sentido de manter o fluxo de tráfego com a menor interferência possível, a sinalização temporária deve cumprir os seguintes requisitos (Junta Autónoma de Estradas 1997a; b):

- Informar os condutores acerca da aproximação de uma zona em obras;
- Levá-los a mudar de comportamento, adaptando-os às novas circunstâncias;
- Guiar os condutores ao longo da zona de trabalhos;
- Informar os condutores do fim da zona em obras.

Nesse sentido, o Manual de Sinalização Temporária (Junta Autónoma de Estradas 1997a; b) recomenda que a colocação de sinalização temporária na infraestrutura deve respeitar quatro princípios fundamentais:

- **Princípio de Coerência:** a sinalização permanente não deve contradizer a sinalização temporária.
- **Princípio da Valorização:** verificar se a sinalização temporária é credível e se se justifica a sua colocação.
- **Princípio da Leitura e Concentração:** a sinalização temporária deve ser de fácil leitura e a sua colocação não deve ser muito concentrada.
- **Princípio da Adaptação:** deve ter em conta:
 - **As características da estrada:** traçado, tipo de pavimento, largura da plataforma, a existência de uma via de lentos e o número de vias.
 - **A natureza e duração da zona em obra:** se a ocorrência é prevista ou inesperada e se a zona de trabalhos é fixa ou móvel;
 - **A importância:** importância dos trabalhos e os meios envolvidos para a realização de trabalhos;
 - **A visibilidade:** fatores atmosféricos e condições de luminosidade;
 - **O tráfego:** velocidade de circulação, volume de tráfego, tipo de tráfego (ligeiros/pesados) e variação do tráfego durante o período de execução dos trabalhos;
 - **A localização:** meio urbano ou meio rural, e interligação com outras estradas

Com base nos princípios acima referidos, a implantação da sinalização temporária deve ser executada segundo a ordem pela qual os condutores a vão encontrar: primeiro a sinalização de aproximação, de seguida a sinalização de posição e por último a sinalização final. Quando terminam os trabalhos na infraestrutura, a sinalização temporária deve ser desmontada pela ordem inversa.

A sinalização de aproximação, não deve ocupar nenhuma parcela, por mínima que seja, das vias de circulação abertas ao tráfego, devendo por isso ser colocada sobre as bermas ou em zonas delimitadas, e é dividida em três partes: pré-sinalização, sinalização avançada e sinalização intermédia (Junta Autónoma de Estradas 1997a; b). A pré-sinalização tem como função alertar com suficiente antecedência os condutores da aproximação de uma zona de perigo, sendo maioritariamente constituída por sinais de indicação. A sinalização avançada e intermédia (sinais de perigo e proibição) tem por objetivo redobrar a atenção e a prudência

dos condutores à medida que estes se aproximam da zona de perigo, levando-os a uma redução significativa da velocidade praticada, prevenindo assim a ocorrência de acidentes e permitindo uma maior fluidez do tráfego na zona de restrição (Figura 6).



Figura 6 - Exemplos de sinalização de aproximação (Junta Autónoma de Estradas 1997a; b)

Com recurso a sinais de obrigação, proibição e dispositivos complementares, a sinalização de posição (Figura 7) tem o objetivo de delimitar a zona em que decorrem as atividades de conservação ou manutenção, ou eventuais obstáculos presentes na via, com vista a garantir a segurança dos trabalhadores e dos utentes da via. No intuito de garantir uma maior proteção dos trabalhadores e equipamentos, dever-se-á deixar um espaçamento de 50m entre o fim do bisel e o início da área de trabalhos.

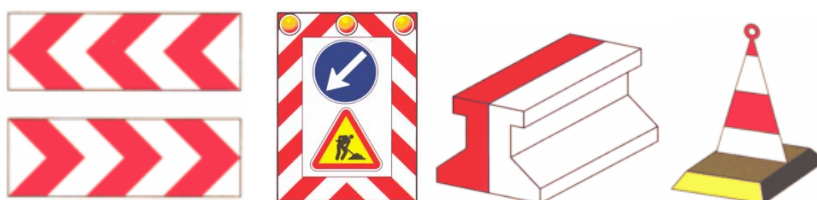


Figura 7 - Exemplos de dispositivos complementares (sinalização de posição) (Junta Autónoma de Estradas 1997a; b)

Por fim, a sinalização final (Figura 8) informa os condutores acerca do final da zona de restrição e do retomar da normalidade das condições de circulação. Tal como a sinalização de aproximação, os sinais que constituem a sinalização final não devem ocupar as vias de circulação, devendo ser colocadas a pelo menos 50cm destas, na berma ou em zonas delimitadas.



Figura 8 - Exemplos de sinalização temporária final (Junta Autónoma de Estradas 1997a; b)

Nos casos em que as condições de luminosidade ou visibilidade sejam reduzidas (durante a noite ou durante o dia com condições atmosféricas adversas), a sinalização temporária deverá ser complementada por dispositivos luminosos intermitentes de cor amarela. A instalação destes dispositivos, independentemente da existência ou não de iluminação pública, é obrigatória e a

fonte de energia por estes utilizada deve ser autónoma da rede de iluminação pública (Républica Portuguesa 1998).

Tendo em conta o acima descrito, a Figura 9 apresenta o modelo a ser usado como base para a implantação da sinalização e delimitação de uma zona de trabalhos localizada na faixa de rodagem.

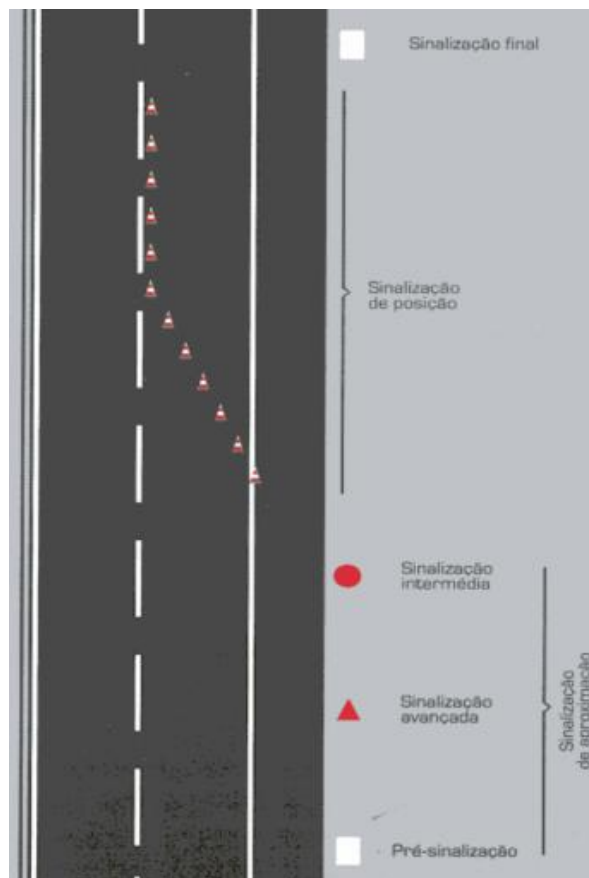


Figura 9 - Esquema-tipo da implantação de sinalização temporária num troço em obras (Junta Autónoma de Estradas 1997a)

A sinalização horizontal é usada como complemento da sinalização vertical quando os trabalhos que decorrem na via são de longa duração. Consiste em marcas (linhas) no pavimento de cor laranja cuja largura não deve ser inferior a 12cm. A linha longitudinal contínua deve ter um comprimento mínimo de 20 ou 30 m, consoante a zona em obras se localize dentro ou fora das localidades, e a linha longitudinal descontínua deve ter uma relação traço-espaco de 2,5 m/1,0m.

Tendo em conta os princípios apresentados anteriormente, a sinalização deve estar disposta de modo a que os condutores consigam adaptar a sua velocidade às condições existentes ao longo de toda a extensão da zona de trabalhos. Quanto maior for o limite de velocidade imposto no local, maior deverá ser a distância entre sinais. A Tabela 1 apresenta a distância entre sinais a adotar em função da velocidade praticada pelos condutores para estradas de uma e duas faixas de rodagem.

Tabela 1 - Distâncias a adotar entre sinais em função da velocidade. Adaptado de (Junta Autónoma de Estradas 1997a; b)

Velocidade (km/h)	Distância entre sinais (m)	
	1 Faixa de rodagem	2 Faixas de rodagem
<60km/h	50m	50m
[60,80]km/h	100m	100m
[81,100]km/h	150m	150m
>100km/h	-	250m

Em estradas com uma faixa de rodagem, no que toca à largura das vias de circulação abertas ao tráfego na zona em obras, todos os projetos de sinalização temporária devem respeitar uma largura mínima de 2,30m para vias destinadas somente à circulação de veículos ligeiros e de 2,90 m para veículos ligeiros e pesados (Junta Autónoma de Estradas 1997a; b).

Outro aspeto a ter em consideração é a segurança das pessoas que por vários motivos têm que realizar tarefas na estrada (trabalhadores, agentes sinaleiros, etc...). Estas pessoas são consideradas elementos vulneráveis para a ocorrência de acidentes pelo que, para sua segurança, devem ser avistadas à distância pelos automobilistas. Nestes casos, a utilização de vestuário refletor de alta visibilidade (classe 3) por parte dos trabalhadores e agentes é obrigatória, garantindo que sejam atempadamente avistados pelos condutores (segundo a norma europeia (EN ISO 20471 2013)).

Segundo o decreto regulamentar 22-A/98 de 1 de Outubro, sempre que a duração dos trabalhos seja superior a 30 dias, ou independentemente da duração, a respetiva natureza e extensão o justifiquem, deve ser elaborado um projeto de sinalização de carácter temporário a implementar na estrada (Diário da República 1998). Para este efeito, o manual da Junta Autónoma de Estradas propõe diversos esquemas de implantação da sinalização temporária, consoante os diferentes locais da infraestrutura rodoviária em que decorrem os trabalhos (fixos ou temporários) ou ocorrem os perigos temporários (trabalhos em bermas, na via, em interseções, rotundas, etc.).

O conjunto de figuras que se segue (10 a 17) apresenta esquemas de sinalização temporária na presença de perigos temporários, trabalhos fixos e trabalhos móveis para estradas com uma e duas faixas de rodagem.

➤ **Estradas com uma faixa de rodagem:**

Colocação de biséis

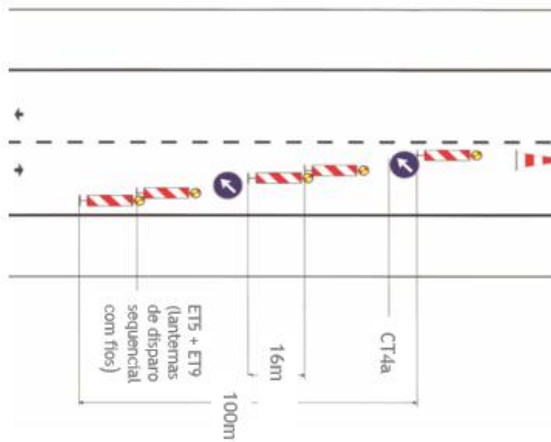


Figura 10 - Colocação de biséis para corte da via direita na presença de trabalhos fixos (Junta Autónoma de Estradas 1997a)

Exemplo de esquema para sinalização de perigo temporário

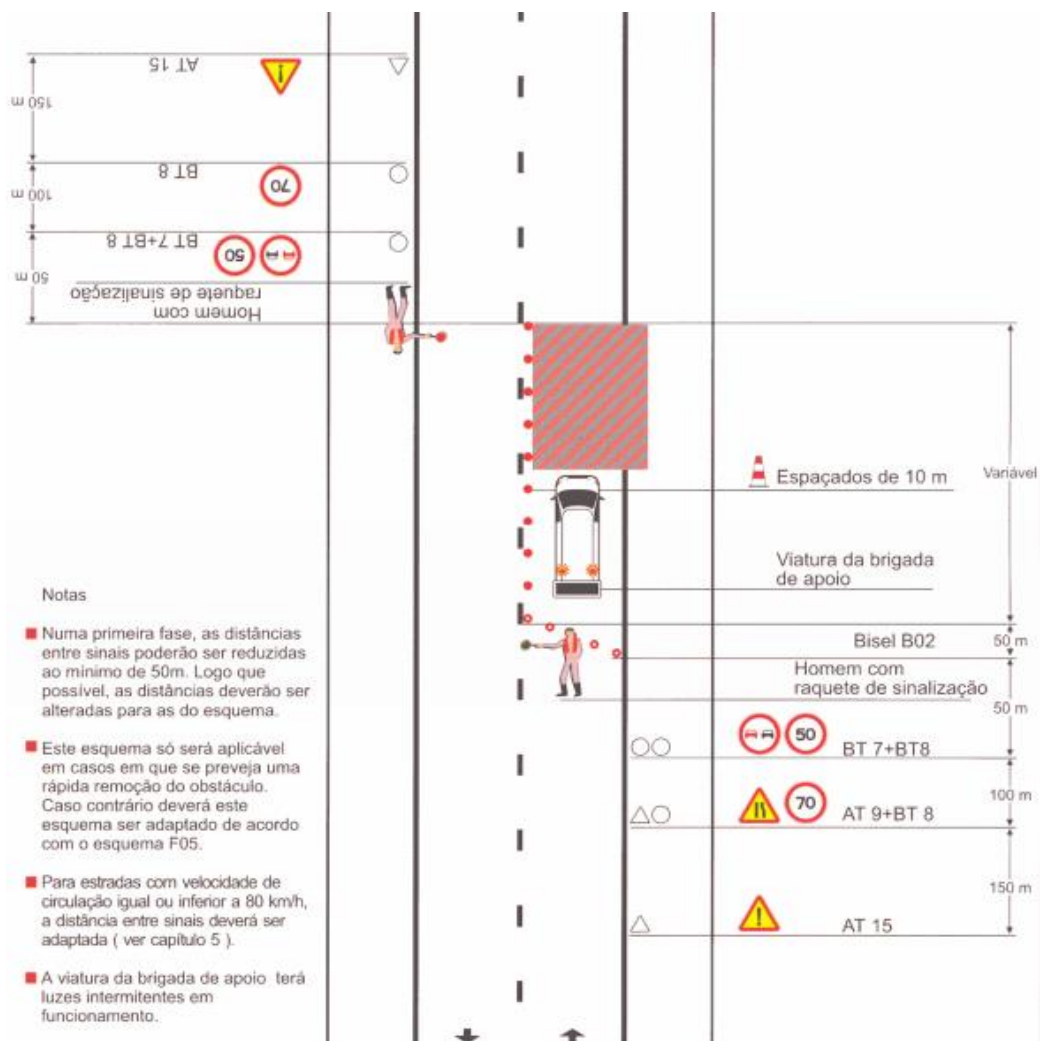


Figura 11 - Perigo temporário na via com circulação alternada (Junta Autónoma de Estradas 1997a)

Exemplo de esquema para sinalização de trabalhos fixos na via

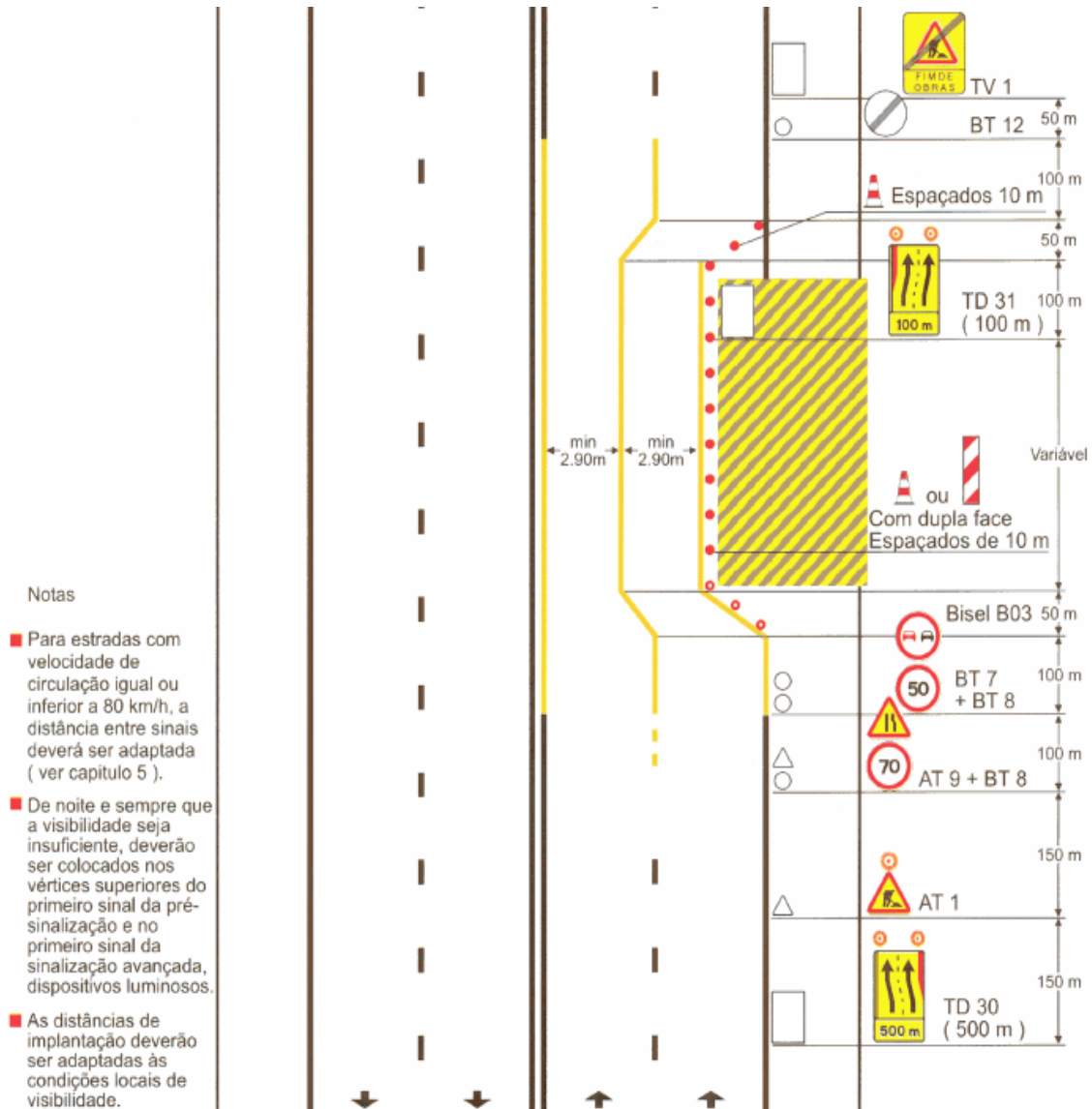


Figura 12 - Trabalhos na via com estreitamento forte das vias (Junta Autónoma de Estradas 1997a)

Exemplo de esquema para sinalização de trabalhos móveis na via

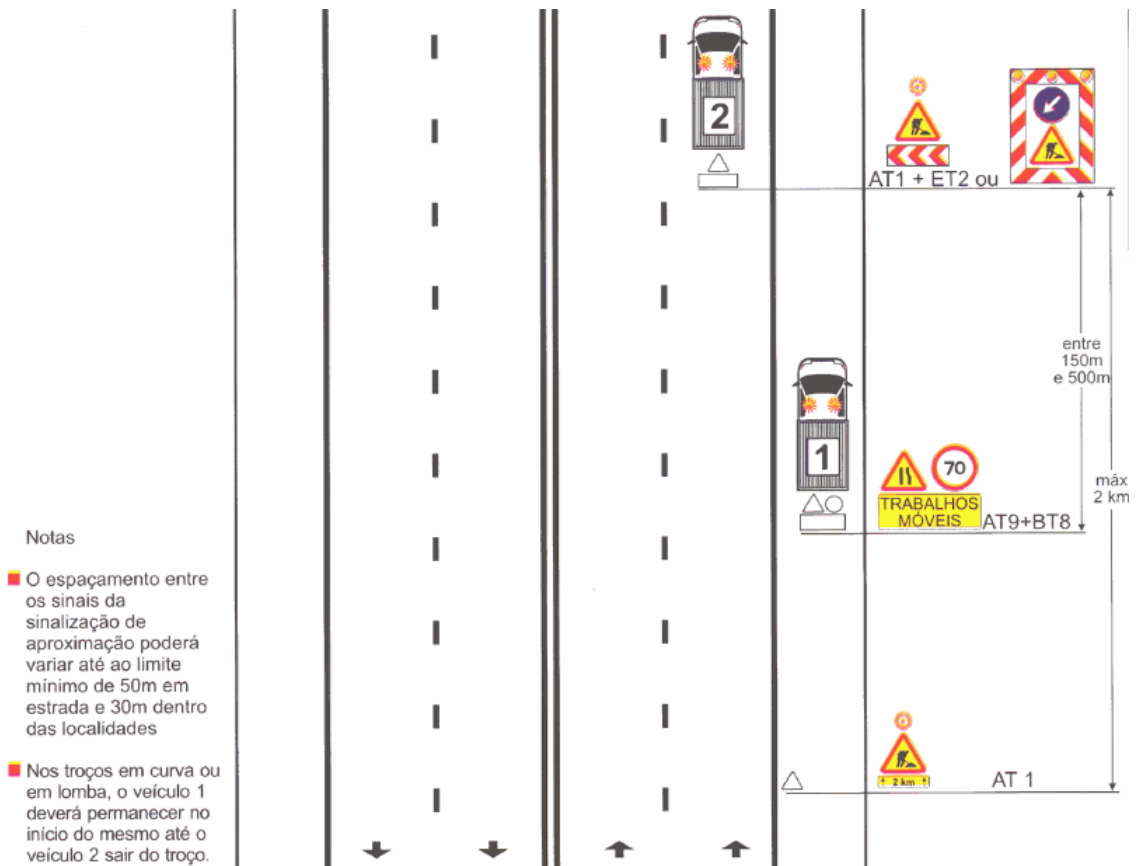


Figura 13 - Trabalhos móveis a decorrer na via direita (Junta Autónoma de Estradas 1997a)

➤ **Estradas com dupla faixa de rodagem**

Colocação de biséis

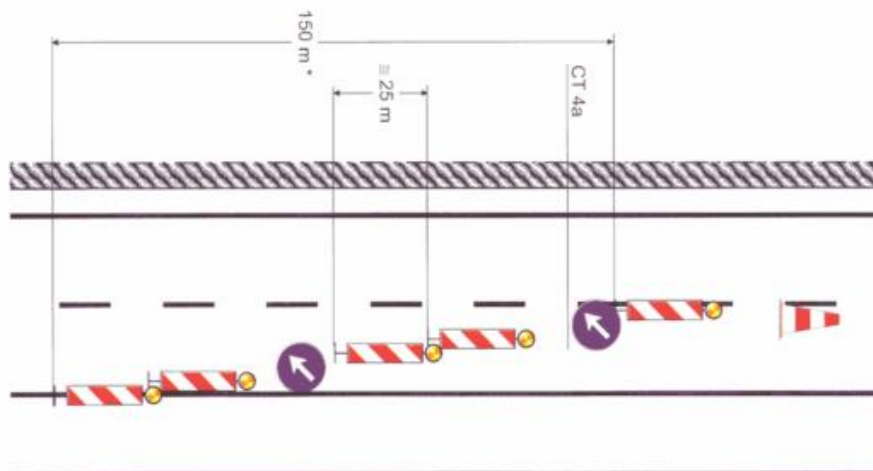


Figura 14 - Colocação de biséis na via direita na presença de trabalhos fixos (Junta Autónoma de Estradas 1997b)

Exemplo de esquema para sinalização de trabalhos fixos na via

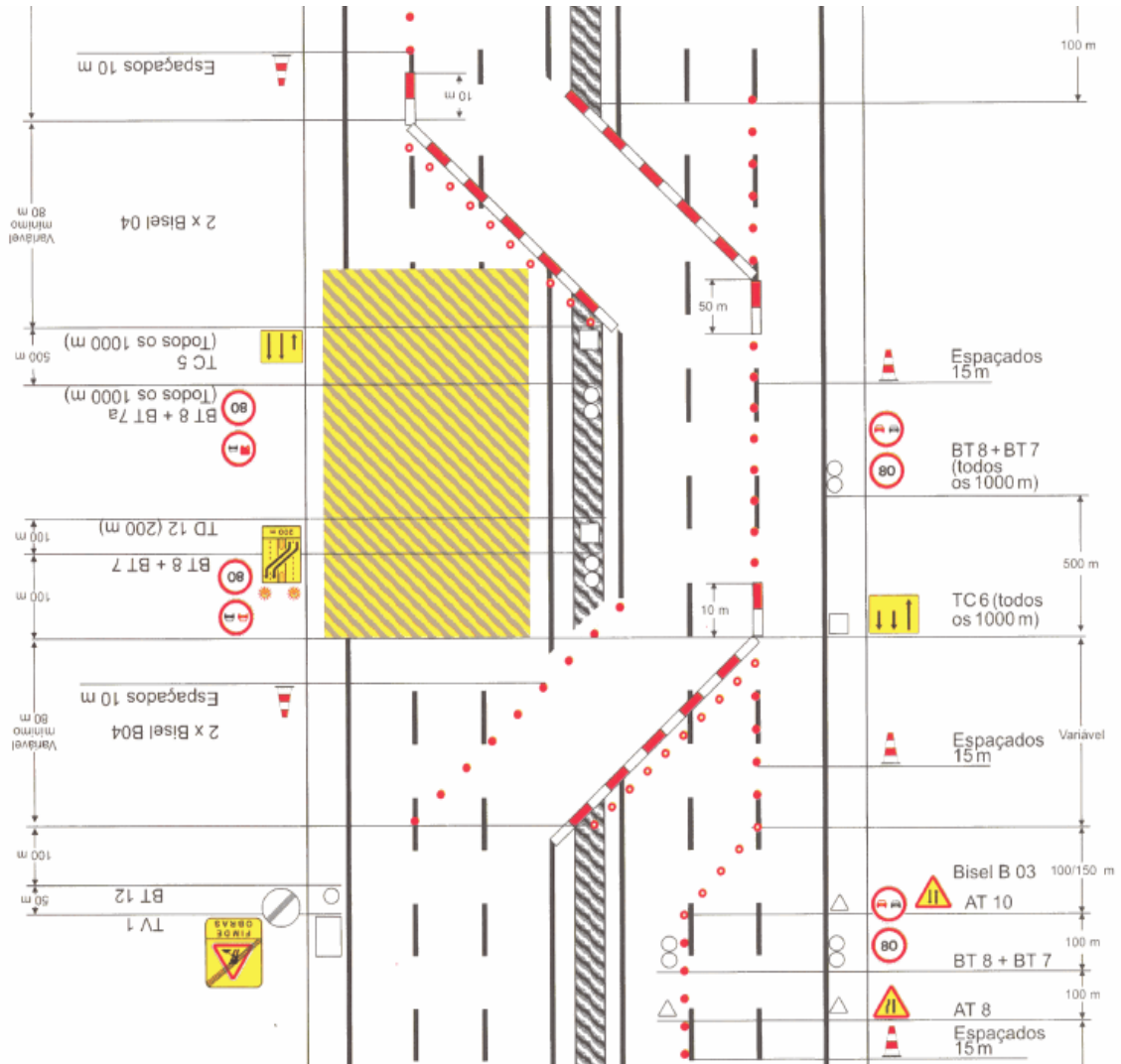


Figura 16 - Mudança temporária de faixa de rodagem devido à ocorrência de trabalhos fixos na totalidade de uma das faixas de rodagem (Junta Autónoma de Estradas 1997b)

Exemplo de esquema para sinalização de trabalhos móveis na via

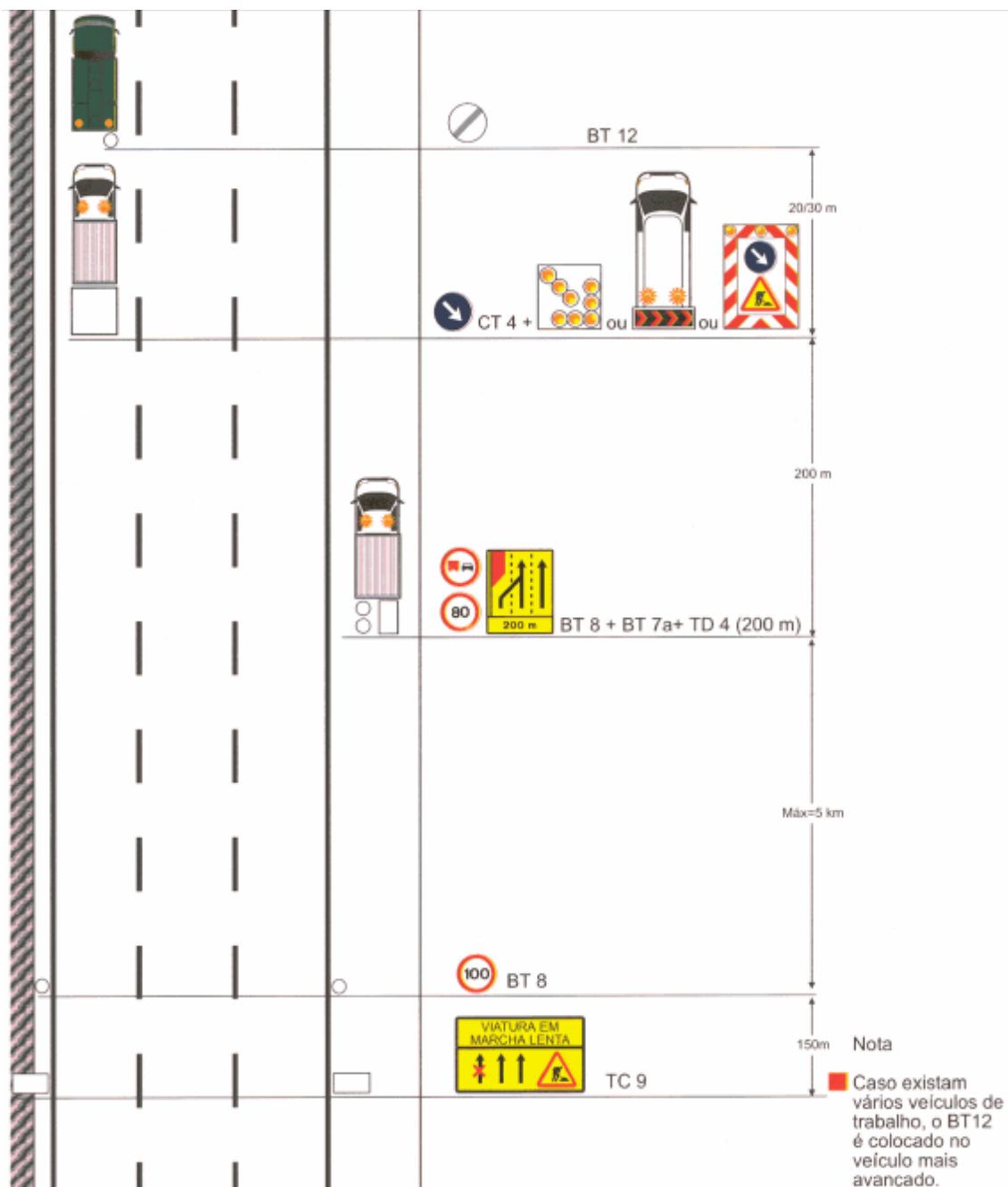


Figura 17 - Trabalhos móveis na via esquerda (Junta Autónoma de Estradas 1997b)

Outros exemplos de esquemas de colocação de sinalização temporária, incluindo situações particulares como a colocação de sinalização temporária em curvas, interseções, rotundas, ou desvios de itinerário, tanto para estradas de faixa de rodagem única como de dupla faixa de rodagem, podem ser consultados no Manual de Sinalização Temporária (Junta Autónoma de Estradas 1997a; b).

No panorama internacional, salienta-se o Manual de Dispositivos de Controlo de Tráfego (MUTCD) do *Federal Highway Administration* (FHWA), que à semelhança do Manual de

Sinalização Temporária da JAE, divide as zonas em obras em 4 partes (Figura 18): área de aproximação, área de transição, área de atividade e área de término (Federal Highway Administration 2009) citado por (Lu et al. 2008). Na fase de aproximação, os condutores são alertados para a aproximação de uma zona de perigo, seguidamente são orientados para um percurso alternativo na zona de transição. Esta zona tem normalmente forma de gargalo, o que reduz o fluxo de tráfego. A área de término demarca o final da zona de trabalhos e o retomar da normalidade das condições de circulação. Os dispositivos utilizados para controlar o tráfego e delimitar as zonas de trabalhos, à semelhança dos propostos pelo manual da JAE, são: cones, marcadores tubulares, barreiras direcionais e painéis verticais, entre outros. A sinalização de perigo de carácter temporário apresenta cor laranja e forma de losango.

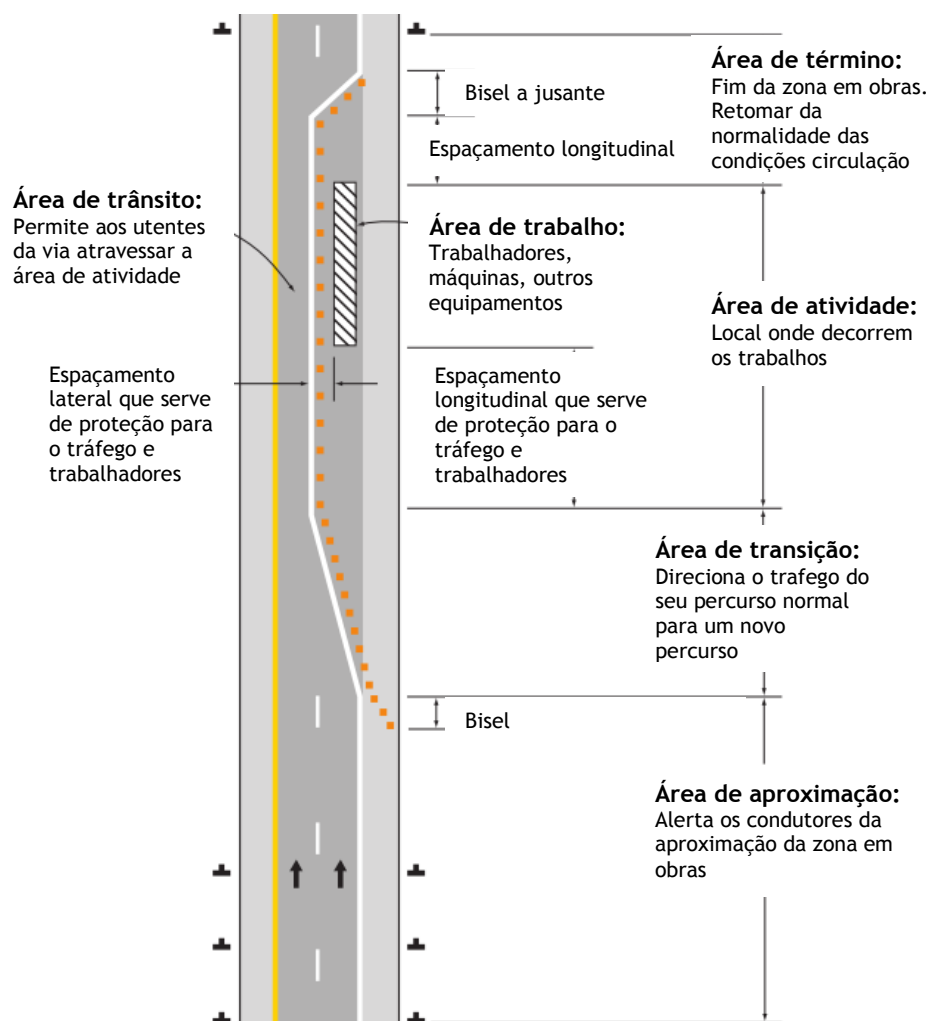


Figura 18 - Esquema-tipo da delimitação de uma zona em obras segundo o FHWA (Federal Highway Administration 2009)

O MUTCD recomenda igualmente distâncias a adotar entre sinais a colocar na área de aproximação. As distâncias recomendadas em função do tipo de via e da velocidade são apresentadas na Tabela 2, onde A é a distância entre o primeiro e o segundo sinal, B é a distância entre o segundo e o terceiro sinal, e C é a distância entre o terceiro sinal e o início da fase de transição.

Tabela 2 - Distâncias entre sinais na área de aproximação em função da velocidade (Federal Highway Administration 2009)

Tipo de estrada	Distância entre sinais (m)		
	A	B	C
Urbana (velocidades baixas de circulação/centro)	30m	30m	30m
Urbana (velocidades altas de circulação/periferia)	105m	105m	105m
Rural	150m	150m	150m
Autoestrada	305m	305m	805m

Na área de transição, o comprimento dos biséis que delimitam a zona em obras e que conduzem os condutores na mudança de via é calculado com recurso às expressões apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Fórmulas de cálculo do comprimento do bisel (Federal Highway Administration 2009)

Velocidade (S - km/h)	Comprimento do bisel (L)
65km/h	$L = \frac{WS^2}{60}$
70km/h	$L = WS$

Nota: nas expressões W representa a largura da via e S o limite de velocidade no local.

Uma vez que o comprimento calculado para os biséis é função da velocidade praticada e esta varia ao longo da extensão da zona em obras, o comprimento destes pode variar consoante a sua localização dentro da zona em obras. Os biséis devem ter comprimento suficiente de modo a que os condutores consigam alterar o seu trajeto para a via adjacente em segurança.

A Figura 19 mostra um exemplo dos diferentes comprimentos que os biséis podem tomar ao longo de uma zona em obras.

2.3 - Sinistralidade rodoviária nas zonas em obras - Revisão bibliográfica

A segurança rodoviária nas zonas em obras é ainda um tema pouco abordado em Portugal, no entanto, nos Estados Unidos é uma das principais prioridades das agências que gerem a infraestrutura rodoviária. Nas últimas décadas, engenheiros e investigadores da área rodoviária realizaram inúmeros estudos acerca dos acidentes nestes locais, procurando compreender as suas características e com base nas mesmas, propor medidas de segurança com vista a reduzir ao máximo o número de ocorrências nestes locais.

Um dos primeiros estudos efetuados nesta área foi o de Jerry Pigman e Kenneth Agent (Pigman and Agent 1990). O estudo teve como objetivo identificar as principais características dos acidentes rodoviários ocorridos nas zonas em obras de autoestradas, entre 1983 e 1986, e teve por base os dados introduzidos no Sistema de Registo de Informação de Acidentes do estado norte-americano do Kentucky (KARS). O relatório produzido identifica as zonas em obras como fator contribuinte para a ocorrência de acidentes rodoviários. Para o desenvolvimento do estudo foram considerados 2013 acidentes ocorridos em zonas de obra, com uma média de 500 ocorrências por ano, dos quais resultaram 19 vítimas mortais e 883 feridos.

Começando por analisar as características gerais dos acidentes, os autores verificaram que os acidentes nas zonas em obras tendem a ocorrer nos meses mais quentes, entre junho e outubro (62,3% das ocorrências), uma vez que para este período são normalmente programadas mais ações de manutenção, reabilitação ou construção nos pavimentos. Analisando as características do ambiente rodoviário, 54,9% dos acidentes ocorreram em meios rurais. Os meios urbanos e industriais registaram menos ocorrências, 28,8% e 13,3% respetivamente. No que toca às condições de aderência do pavimento, verificaram-se mais ocorrências em piso seco (84,7%) e molhado (14,1%). Tendo em conta as características geométricas do traçado, a maior parte das ocorrências deu-se num traçado em planta reto (80,3%) e num traçado em perfil em patamar (66,2%). Analisando condições de luminosidade, a maior parte dos acidentes ocorreu durante o dia (76,3%) e durante a noite em locais sem iluminação artificial (14,1%). Os autores dividem a análise dos tipos de colisão tendo em conta a ocorrência do acidente fora ou dentro da área de influência de uma interseção. O maior número de ocorrências deu-se fora das interseções (71,4%), tendo-se verificado que a colisão traseira é a mais frequente (27,3%) seguida da colisão lateral (14,2%). Nas interseções, os tipos de colisão mais frequentes foram a colisão lateral (8,6%) e a colisão traseira (2,0%). Ocorreram ainda com alguma significância, despistes simples devido a objetos presentes na faixa de rodagem, fora das interseções (9,6%). Quanto aos fatores contribuintes para as ocorrências, o estudo aponta para três fatores: ações dos condutores, falhas mecânicas do veículo e fatores relacionados com o ambiente rodoviário. As ações mais frequentes praticadas pelos condutores no momento do acidente foram: falta de atenção do condutor (31,5%), não cedência de passagem (14,9%), desrespeito pela distância de segurança

em relação ao veículo da frente (11,6%) e excesso de velocidade (10,4%). Os fatores contribuintes relacionados com falhas mecânicas dos veículos e com o ambiente rodoviário revelaram muito pouca significância, apresentando percentagens muito baixas (menos de 1%). No primeiro caso (falhas mecânicas), apenas algum destaque para falhas no sistema de travagem dos veículos (1,4% dos acidentes). No segundo caso (fatores ambientais) destacam-se os acidentes ocorridos em condições de visibilidade limitada (2,0%) e piso escorregadio (1,7%). Os autores dividem as zonas em obras em três tipos: zona em obras de construção, de manutenção e de manutenção de rotina. As zonas de obra de construção registaram o maior número de ocorrências (54,8% dos acidentes), o que se deve à sua maior duração, bem como à maior densidade de trabalhadores e equipamentos de obra presentes na faixa de rodagem. Em relação aos fatores contribuintes, considerando os três tipos de zonas em obras, os mais significativos para a ocorrência de acidentes foram: congestionamento do tráfego nestes locais (24%), largura da via reduzida (9,3%), tentativa de evitar a colisão com um equipamento de obra (5,6%), e fracas condições de aderência, nomeadamente um piso com óleo ou gravilha (5,4%). Os autores dividem as zonas de obra em três partes: zona de aproximação, zona de transição e zona de trabalhos, sendo esta última aquela onde se registaram mais acidentes (54,1%).

Pigman e Agent concluíram que os acidentes ocorridos nas zonas em obras apresentam em geral consequências mais graves do que os ocorridos fora das mesmas. Verificaram ainda uma elevada percentagem de colisões traseiras e laterais em comparação com os acidentes ocorridos fora das zonas de trabalho e uma elevada percentagem de acidentes envolvendo veículos pesados (27,5%), uma vez que fora destas zonas a percentagem é significativamente mais baixa (9,6%), pelo que concluíram que é necessário adaptar as zonas em obras à circulação deste tipo de veículos. Os autores concluíram ainda que apesar de o volume de tráfego ter aumentado em conjunto com o número de intervenções de manutenção ou construção, o aumento do nº de acidentes não foi significativo.

A nível europeu, e já citado anteriormente, foi desenvolvido o projeto ARROWS (*Advanced Research on Road Work Zone Safety Standards in Europe*). Este projeto teve como principais objetivos desenvolver um conjunto princípios e medidas de segurança que devem reger o planeamento, projeto, implantação e operação das zonas em obras, de forma a atenuar os seus efeitos adversos na segurança dos trabalhadores e dos utentes da estrada. Com base nesses mesmos princípios e medidas, o projeto pretendeu ainda desenvolver um manual prático para ser usado como guia para melhorar a segurança dos trabalhadores e dos utentes nas zonas em obras (ARROWS 1998).

Outro estudo realizado nesta área foi o de Garber e Zhao (Garber and Zhao 2002). Estes autores estudaram a distribuição de acidentes rodoviários ocorridos nas zonas em obras entre 1996 e 1999, tendo em conta a sua localização na zona de obra, a sua gravidade, o tipo de colisão e o tipo de via em que os mesmos ocorreram. O caso de estudo contou com a análise de 1484

acidentes ocorridos durante este período no estado norte-americano da Virgínia. Cada acidente foi considerado tendo em conta a sua localização dentro da zona de obra, que é dividida em cinco partes: zona de aproximação, zona de transição, zona de proteção, zona de trabalhos e zona de fim de trabalhos.

Os resultados do estudo indicam que a maior parte dos acidentes ocorreu na zona de trabalhos, tendo-se verificado neste local 70% das ocorrências, independentemente do tipo de via, enquanto que a zona de fim de trabalhos foi a mais segura apresentando 2% das ocorrências. Tal como no estudo anterior, o tipo de colisão mais verificado foi a colisão traseira (52%), seguido da colisão lateral por raspagem (11%). Na zona de transição, a colisão lateral registou um maior número de ocorrências quando comparado com as restantes zonas.

Dado o elevado número de colisões traseiras verificadas essencialmente devido às elevadas variações nas velocidades praticadas pelos condutores, os autores alertam para que sejam tomadas medidas que reduzam a variação das velocidades praticadas na aproximação e no atravessamento da zona em obras.

Finalizado em 2005, o projeto europeu FORMAT (*Fully Optimised Road Maintenance*), foi concebido para melhorar a eficiência e a segurança da rede rodoviária europeia, fornecendo meios para reduzir o número, a duração e a dimensão das zonas de trabalho rodoviárias de modo a reduzir ao máximo o incómodo proporcionado aos utentes (FORMAT 2005).

Os resultados obtidos neste projeto indicam que, durante o ano 2000, para toda a rede rodoviária europeia considerada (países envolvidos no estudo), os acidentes nas zonas em obra representaram menos de 2% do total de acidentes, verificando-se valores de 3 a 5% para o caso particular das infraestruturas do tipo autoestradas. No entanto, o estudo alerta para alguns cuidados a ter em consideração ao retirar qualquer conclusão dos resultados obtidos a nível europeu. Em primeiro lugar, o estudo aponta que o registo destes acidentes varia de país para país, e que os agentes de segurança presentes no local do acidente podem reger-se por diferentes diretrizes e interpretações no preenchimento dos boletins. Outro fator a ter em conta é o nível de exposição das zonas em obras (densidade, duração dos trabalhos, comprimento da zona em obras e fluxo de tráfego), bem como a gestão da rede rodoviária que pode variar de acordo com realidade de cada país.

Yingfeng Li e Yong Bai, efetuaram em 2006 uma investigação para determinar as principais causas dos acidentes ocorridos nas zonas em obras das autoestradas do estado norte-americano do Kansas (Bai and Li 2006). Observando os dados recolhidos pelo Departamento de Transportes do Kansas (KDOT), foi registado um total de 15434 acidentes entre 1992 e 2004, dos quais, 157 foram fatais (1%), 4443 resultaram em feridos (29%) e 10834 resultaram apenas em danos materiais (70%). Devido à elevada dimensão da base de dados, esta investigação focou-se apenas nos acidentes fatais (157). A base de dados engloba informações acerca do condutor

responsável pelo acidente (idade e género), da data em que ocorreu o acidente (hora, dia, mês e ano), do ambiente rodoviário (condições de luminosidade, condições atmosféricas e estado do pavimento), do tipo de acidente (manobras antes do acidente, gravidade do acidente, tipo de acidente, categoria do veículo e número de veículos envolvidos), das características da estrada e do pavimento (classe, características geométricas, nº de vias, limite de velocidade, localização do acidente, tipo de piso, características especiais, dispositivos de controlo de tráfego) e dos fatores contribuintes (aspetos relacionados com os condutores, peões, veículo e ambientais).

Os resultados do estudo indicam que os condutores do sexo masculino representam um fator de risco, sendo responsáveis por 75% dos acidentes ocorridos em zonas em obras. Os condutores com idades compreendidas entre os 35 e os 44 anos, assim como com idade superior a 65 anos, são os grupos de risco identificados. Os autores propõem um investimento na formação dos condutores no que toca à segurança rodoviária. A respeito da data e hora de ocorrência, os períodos mais problemáticos foram: durante o dia e fora das horas de ponta (entre as 10h e as 16h), com cerca de 32% das ocorrências; e durante a noite, entre as 20 e as 6h, com cerca de 37% das ocorrências. Verificou-se ainda um número significativo de ocorrências durante a época baixa de construção (novembro a março), pelo que os autores sugerem um investimento nos dispositivos de controlo de tráfego, nomeadamente em dispositivos refletores para a prevenção de acidentes durante a noite. Quanto à localização, estradas com uma via em cada sentido localizadas em meio rural, com limite de velocidade entre 80 a 110km/h, revelaram ser locais de risco, contando com 59% das ocorrências. Estes locais, a par das estradas multivias e dos centros urbanos, são igualmente um fator de risco para veículos pesados. Os autores propõem como medida de segurança um reforço no controlo de velocidade. Analisando o tipo de acidente, os autores verificaram que mais de 68% dos acidentes envolveram mais do que um veículo. Entre estes acidentes, as colisões frontais, laterais e traseiras foram as mais frequentes. Os resultados indicam ainda que os acidentes mais graves envolveram veículos pesados (40% destes foram causados por veículos pesados e destes, quase todos envolveram mais do que um veículo).

Com base nestes resultados, os autores propõem um investimento na formação dos condutores, no controlo de velocidade e num traçado geométrico adequado às manobras efetuadas pelos veículos pesados. Os fatores externos que mais contribuíram para os acidentes com vítimas mortais nas zonas de obra foram os erros humanos, nomeadamente a falta de atenção e o desrespeito/incompreensão dos condutores em relação aos dispositivos controladores de tráfego, bem como a ineficácia destes. Condições atmosféricas adversas e características desfavoráveis das estradas (interseções, lombas, desvios, etc.) não revelaram significância na ocorrência de acidentes fatais. As condições de luminosidade e o traçado geométrico constituem também fatores de risco para a condução nas zonas em obras. Os autores apresentam como medida de segurança, a aposta em dispositivos de controlo de tráfego e de

velocidade, como a colocação de sinalização luminosa e de marcas no pavimento na área de aproximação.

Capítulo 3 - Regressão Logística Binária

Capítulo 3 - Regressão Logística Binária

3.1. Introdução

3.2. Funções de Ligação *Probit* e *Logit*

3.3. Método da Máxima Verosimilhança

3.4. Métodos de Seleção de Variáveis

3.5. Significância dos Modelos

3.6. Estimação do Intervalo de Confiança

3.7. Testes de Ajuste dos Modelos

3.8. Regressão Logística Binária Aplicada à Análise de Dados de Sinistralidade Rodoviária

Capítulo 3 - Regressão Logística Binária

3.1. Introdução

A regressão logística binária é uma ferramenta estatística muito usada para explicar a relação entre uma variável de resposta (dependente) e um conjunto de variáveis explicativas que podem ser de vários tipos (numéricas, categóricas, etc.). A variável de resposta corresponde ao evento de interesse e é do tipo binária, ou seja, assume apenas dois tipos de resposta, 1 (acontecimento) e 0 (não acontecimento). As variáveis explicativas, como o próprio nome indica, traduzem a sua influência na ocorrência ou não ocorrência do evento.

Esta técnica é muito adotada, por exemplo no ramo da medicina, onde é aplicada com o fim de identificar os fatores de risco associados ao aparecimento de uma determinada doença (Gama 2016). Visto que a ocorrência de um acidente é traduzida por uma resposta binária (ocorrência/não ocorrência), esta técnica pode igualmente ser aplicada no desenvolvimento de modelos de regressão com vista a identificar e analisar os fatores que mais influenciam a ocorrência de acidentes rodoviários.

Seja P a probabilidade de ocorrência de um acontecimento Y , em que $Y=1$ significa a ocorrência de um acidente e $Y=0$ a não ocorrência de um acidente, então, a probabilidade P de ocorrência de Y dado X é expressa pela forma genérica apresentada na expressão (1) que traduz a função usada na regressão logística:

$$P(Y = 1|X) = \frac{e^{\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k}}{1 + e^{\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k}} = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k)}} \quad (1)$$

Em que $\{X_1, X_2, \dots, X_k\}$ é um conjunto de variáveis explicativas (independentes) e $\{\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k\}$ são os coeficientes estimados de cada uma dessas variáveis.

Ao analisar os valores dos coeficientes, é possível determinar a influência que cada variável explicativa tem na ocorrência ou não ocorrência de um acontecimento. Por exemplo, quando o evento de interesse toma o valor 1 (ocorrência), uma variável com coeficiente positivo indica que tem influencia positiva na ocorrência do evento, ou seja, aumenta a probabilidade de ocorrência desse evento. Quanto maior for o valor do coeficiente, maior é a sua influência, isto é, maior é a probabilidade de ocorrência do evento devido a essa variável. Em contrapartida, se os coeficientes apresentarem valores negativos, significa que as variáveis diminuem a probabilidade de ocorrência do evento conforme o valor em módulo dos seus coeficientes.

A abordagem de regressão logística descrita no presente capítulo baseia-se na análise efetuada pelo *software* de análise estatística *SAS Studio University Edition*.

3.2. Funções de ligação *Logit* e *Probit*

A expressão (1) pode ser transformada numa função *logit*, tomando a forma apresentada na expressão (2):

$$\text{logit}(Y = 1|X) = \ln(\text{odds}) = \ln\left(\frac{P}{1-P}\right) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k \quad (2)$$

Nesta expressão, *odds* (rácio das chances) traduz a razão entre a probabilidade de ocorrência de um acontecimento dado uma série de fatores de risco ($P(Y = 1|X_i)$) e a probabilidade de não ocorrência do mesmo acontecimento ($1 - P(Y = 1|X_i)$) isto é, as chances de ocorrência de um acontecimento relativamente à não ocorrência do mesmo acontecimento (Maroco 2007) (ver expressão (3)).

$$\text{Odds ratio} = e^{\beta_i} = \frac{\frac{P(Y = 1|X_i = x + 1)}{1 - P(Y = 1|X_i = x + 1)}}{\frac{P(Y = 1|X_i = x)}{1 - P(Y = 1|X_i = x)}} = \frac{\text{Chances } (X_i \text{ aumenta uma unidade})}{\text{Chances } (X_i \text{ não varia})} \quad (3)$$

Uma vez que a variável dependente toma apenas dois valores (1 e 0), a função de ligação *logit* é usada para linearizar a variável dependente. Com esta transformação, o modelo possui diversas propriedades de uma regressão linear, pois *logit* é uma função linear nos seus parâmetros, pode ser contínua e os seus valores podem variar em \mathbb{R} (Cabral 2013).

Outra função de ligação também adotada em modelos de resposta binária é função de distribuição normal *probit*, que é dada pela expressão (4) (Maroco 2007).

$$\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\alpha + \beta X} \exp\left(-\frac{1}{2}z^2\right) dz \quad (4)$$

Onde Φ é a função de distribuição normal; α é uma constante, ponto de corte, ou *threshold* que define a região de fronteira entre os dois valores de Y ; e βX é o vetor regressão ($\beta X = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k$), onde o valor de βX é o valor z de uma distribuição normal, em que, um maior valor de z resulta numa maior área da curva definida pelo integral logo uma maior probabilidade de ocorrência do acontecimento Y (O'Halloran 2016). O modelo *probit* assume ainda que a variável dicotómica Y é a operacionalização de uma variável latente (η) onde ε representa o erro padrão, sendo o modelo ajustado dado pela expressão (5).

$$\Phi^{-1}(\eta) = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon \quad (5)$$

Comparando as duas funções de ligação, embora praticamente não haja diferença nos coeficientes estimados por ambas, a função *logit* apresenta grandes vantagens a nível matemático e na interpretação dos resultados finais, uma vez que é mais fácil interpretar os

resultados do modelo pela razão *odds* do que pelos coeficientes estimados. Por estes motivos esta função é amplamente adotada pelos investigadores (Al-ghamdi 2002; Cabral 2013; Li and Bai 2009; Lu et al. 2008; Naznin et al. 2016; Santos and Picado-Santos 2017).

Outro aspeto que pode influenciar a escolha da função de ligação é o tamanho da amostra a ser testada. Para amostras de tamanhos reduzidos (menos de 20 observações), recomenda-se o uso da função *logit*, enquanto que para maiores tamanhos de amostra, ambas as funções apresentam resultados muito semelhantes (Freitas et al. 2013).

3.3. Método da Máxima Verosimilhança

O método de ajustamento usado na regressão logística é o Método da Máxima Verosimilhança (*Maximum likelihood*). Este método estima os coeficientes de regressão ($\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_n$) que maximizam a probabilidade de encontrar as realizações da variável dependente (y_1, y_2, \dots, y_n) amostradas, isto é que maximizem a verosimilhança desses valores. Num cenário de regressão logística, cada realização de Y toma apenas dois valores (1 ou 0) sendo cada uma das observações de Y uma variável aleatória dicotómica (Maroco 2007). Assim:

$$P(Y = y_j) = \pi^{y_j}(1 - \pi)^{1-y_j} \quad (6)$$

Em que π é probabilidade de ocorrência do acontecimento Y e $(1 - \pi)$ é o seu evento complementar ou vice-versa.

No caso de as n observações de Y serem assumidas como independentes, a função de verosimilhança que dá a probabilidade conjunta $P(Y = y_1, Y = y_2, \dots, Y = y_n)$ de se obterem os valores (y_1, y_2, \dots, y_n) amostrados é obtida pelo produto dos termos dados na expressão anterior:

$$L = P(Y = y_1) \times P(Y = y_2) \times \dots \times P(Y = y_n) = \prod_{j=1}^n \pi_j^{y_j} [1 - \pi_j]^{1-y_j} \quad (7)$$

Para estimar a combinação de valores β que maximizam a função de verosimilhança, deriva-se a mesma em ordem a β mas antes é necessário transformar a função na forma logarítmica por conveniência do cálculo diferencial, pois é mais fácil derivar uma soma do que um produto. Assim a transformação logarítmica da expressão (7) resulta na expressão (8):

$$LL = Ln(L) = \sum_{j=1}^n \{y_j Ln(\hat{\pi}_j) - (1 - y_j) Ln(1 - \hat{\pi}_j)\} \quad (8)$$

A função $Ln(L)$ tem o seu máximo quando a sua derivada é nula ($\partial LL/\partial B = 0$), e como $Ln(L)$ é uma transformação linear de L , o vetor que maximiza $Ln(L)$, é também o vetor que maximiza L . Porém, este sistema de equações não tem solução analítica, pois são equações não lineares,

pelo que B é estimado iterativamente através de um algoritmo computacional que maximiza a função até que a convergência seja alcançada. O *software SAS* apresenta dois métodos de iteração: o método de *Newton-Raphson* e o *Fisher Scoring*.

O valor de B dado pela solução do sistema de equações é chamado o estimador de máxima verosimilhança que é mostrado como $\hat{\beta}$. Por exemplo, $\hat{\pi}_j$ é a estimativa máxima de verosimilhança de π_j . Esta quantidade fornece uma estimativa da probabilidade condicional de que Y é igual a 1, dado que x é igual a x_i .

3.4. Métodos de seleção de variáveis

Um dos maiores problemas que surge quando se constrói um modelo de regressão logística é a seleção das variáveis a incluir no modelo (Sperandei 2014). Alguns investigadores tendem a correr todas as variáveis possíveis num só modelo na tentativa de encontrar algo “significativo”. Esta abordagem pode gerar alguns problemas, pois um modelo com muitas variáveis torna-se num modelo saturado com pouco poder estatístico, ou seja, se houver uma relação entre uma variável explicativa e a ocorrência de um dado acontecimento, o investigador pode perder sensibilidade para detetá-lo. É possível iniciar um modelo de regressão logística saturado, com todas as variáveis explicativas incluídas, ou vazio, sem qualquer variável explicativa, iniciando-se apenas com o a função *intercept* (intercalar). No primeiro caso, as variáveis que não são significativas na ocorrência do evento são eliminadas do modelo uma a uma. Este método apresenta vantagens em relação ao segundo, apenas porque é mais fácil de tratar, enquanto que segundo caso requer que todas as variáveis candidatas sejam testadas a cada passo de modo a selecionar as que apresentam poder preditor. Como regra, para grandes amostras, com pelo menos dez indivíduos por variável, é possível tentar incluir todas as suas variáveis explicativas no modelo completo. No entanto, para amostras de dimensão limitada em relação ao número de variáveis candidatas, deve ser realizada uma pré-seleção.

Alguns dos métodos de seleção de variáveis mais usados em regressão logística são (Égide and Permit 2007): seleção *forward*; seleção *backward*; seleção *fast backward*; seleção *stepwise* e seleção *stepwise selection with fast backward elimination*.

3.4.1. Método de seleção *Forward*

Começa sem nenhuma variável no modelo. As variáveis são adicionadas com base no nível de significância definido para adicionar variáveis do modelo (Égide and Permit 2007).

3.4.2. Método de seleção *Backward elimination*

Começa com todas as variáveis no modelo. As variáveis são removidas com base no nível de significância definido para remover variáveis do modelo (Égide and Permit 2007).

3.4.3. Método de seleção *Fast backward elimination*

Este método utiliza um algoritmo computacional de Lawless and Singhal (Lawless and Singhal 1978). Para cada eliminação subsequente de uma variável do modelo, o algoritmo calcula uma aproximação de 1ª ordem para as restantes estimativas de declive. As variáveis são removidas do modelo com base nessas estimativas aproximadas. Este método de seleção é extremamente eficiente porque o modelo não é reajustado sempre que uma variável é removida (Égide and Permit 2007).

3.4.4. Método de seleção *Stepwise*

Este método é semelhante ao método de seleção *forward*. Contudo, as variáveis que já foram adicionadas ao modelo não se mantêm necessariamente nele. As variáveis são adicionadas e removidas do modelo com base no nível de significância definido para adicionar e para remover uma variável ao modelo (Égide and Permit 2007).

3.4.5. Método de seleção *Stepwise selection with fast backward elimination*

Este método utiliza um algoritmo computacional de Lawless and Singhal (Lawless and Singhal 1978). Para cada eliminação subsequente de uma variável do modelo, o algoritmo calcula uma aproximação de 1ª ordem para as restantes estimativas de declive. As variáveis são removidas do modelo com base nessas estimativas aproximadas. Este método de seleção é extremamente eficiente porque o modelo não é reajustado sempre que uma variável é removida (Égide and Permit 2007)

3.5. Significância dos modelos

O software SAS testa a significância dos coeficientes e dos modelos em geral recorrendo a três testes de significância: o teste *Wald*, o Rácio de Verossimilhanças, e o teste *Score*.

3.5.1 Teste *Wald*

A estatística de *Wald* é amplamente utilizada para identificar qual ou quais são as variáveis que influenciam significativamente o $\text{Logit}(\pi)$, sendo traduzida pela expressão (9), que segue uma distribuição Qui-quadrado com 1 grau de liberdade (Maroco 2007).

$$X_{Wald_i}^2 = \left(\frac{\hat{\beta}_i}{SE(\hat{\beta}_i)} \right)^2 \sim X^2 \quad (9)$$

$$SE(\hat{\beta}_i) = \frac{1}{\sqrt{n\hat{\pi}(1-\hat{\pi})}} \quad (10)$$

Onde $\hat{\beta}_i$ é o estimador de β_i ; $SE(\hat{\beta}_i)$ é o estimador do erro padrão de β_i ; n é o n.º total de observações e $\hat{\pi}$ é a probabilidade de ocorrência estimada.

As hipóteses a testar são:

$$H_0: \beta_1, \dots, \beta_k = 0;$$

$$H_1: \beta_1, \dots, \beta_k \neq 0;$$

A hipótese nula H_0 , é a de que todos os coeficientes ($\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$) das variáveis independentes (X_0, X_1, \dots, X_k) são nulos. As variáveis são testadas uma a uma. Se significativa a um nível de significância α ($p\text{-value} \leq \alpha$), rejeita-se H_0 , indicando que a mesma tem influência no resultado do modelo.

3.5.2. Teste do Rácio de Verossimilhanças

Uma vez ajustado o modelo, é necessário testar a significância do modelo estimado. Uma das medidas usadas para esse teste é o teste da razão de verossimilhanças (Cabral 2013).

Com este teste pretende-se testar simultaneamente se os coeficientes de regressão β são todos nulos com exceção de β_0 .

A comparação dos valores observados e dos valores esperados usando a função de verossimilhança é baseada na seguinte expressão:

$$G^2 = -2 \ln \left[\frac{\text{Função de máxima verossimilhança do modelo corrente}}{\text{Função de máxima verossimilhança do modelo saturado}} \right] \quad (11)$$

Na qual, o modelo corrente corresponde ao modelo nulo ou reduzido (apenas com a constante β_0 ou com as variáveis independentes selecionadas desejadas para o estudo) e o modelo

saturado, como o próprio nome indica, corresponde ao modelo com todas as variáveis independentes possíveis.

As hipóteses a testar são as seguintes:

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0 \quad i. e., \text{ o modelo não é estatisticamente significativo,}$$

vs

$$H_1: \exists_i: \beta_i \neq 0 \quad (i = 1, \dots, p) \quad i. e. \text{ o modelo é estatisticamente significativo.}$$

A estatística de teste à significância do modelo compara a verosimilhança de um modelo só com a constante β_0 , ($Logit(\hat{\pi}_j) = \beta_0$), com a verosimilhança do modelo completo (saturado), com todas as variáveis independentes inseridas no modelo ($Logit(\hat{\pi}_j) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k$). Como a verosimilhança (L) é inferior a 1, e geralmente muito pequena (uma vez que é o produto de várias probabilidades do intervalo $[0;1]$), é usual usar a função de máxima verosimilhança na forma logarítmica, multiplicada por -2 para a tornar num número maior, positivo e com distribuição conhecida. Esta estatística de teste é um indicador da mediocridade do ajustamento do modelo aos dados. Quanto maior o seu valor, pior o seu ajustamento, por outro lado, se nulo, o ajustamento é perfeito (Maroco 2007).

O cálculo da estatística de teste à significância do modelo (G^2) é geralmente feito a partir das estatísticas de teste para o modelo nulo ou reduzido (X_0^2) (expressão (12)) e para o modelo completo (X_C^2) (expressão (13)):

$$X_0^2 = -2LL_0 \stackrel{a}{\sim} X_{n-1}^2, \quad (12)$$

E para o modelo completo (X_C^2):

$$X_C^2 = -2LL_C \stackrel{a}{\sim} X_{n-1-p}^2, \quad (13)$$

Em que LL_0 é a verosimilhança do modelo nulo ou reduzido e LL_C é a verosimilhança do modelo completo.

A estatística de teste G^2 para testar a significância do modelo de regressão logística, é então dada pela expressão (14).

$$G^2 = X_0^2 - X_C^2 = -2LL_0 - (-2LL_C) = -2 \ln \left[\frac{L_0}{L_C} \right] \stackrel{a}{\sim} X_{(p)}^2 \quad (14)$$

O G^2 que é obtido partir do rácio de verosimilhanças dos dois modelos, é uma medida do incremento da qualidade do modelo nulo por adição da(s) variável(eis) independentes. Sob H_0 , G^2 tem distribuição assintótica Qui-quadrado com $(n-1) - (n-1-p) = p$ graus de liberdade (o modelo saturado e reduzido, contêm $n-1$ e $n-1-p$ graus de liberdade

respetivamente). Assim, o modelo completo é estatisticamente significativo apenas quando a adição de uma ou mais variáveis independentes ao modelo reduz significativamente o valor da estatística de teste (G^2).

Se $p\text{-value} \leq \alpha$, rejeita-se H_0 e conclui-se que pelo menos uma das variáveis independentes do modelo consegue prever o $\text{Logit}(\pi)$. Caso contrário, se o modelo ajustado não for significativo, não se rejeita H_0 e não é possível prever o $\text{Logit}(\pi)$ a partir das variáveis presentes no modelo. Dizer que um modelo é significativo, permite apenas afirmar que pelo menos uma das variáveis independentes do modelo influenciam significativamente a variável dependente, não significa necessariamente que o ajustamento seja estatisticamente bom. Assim, é também importante submeter os modelos a testes de ajustamento aos dados (Maroco 2007).

3.5.3. Teste Score

O teste Score (pontuação) é um teste usado para avaliar a significância de uma variável independente e não requer cálculos iterativos para chegar ao $p\text{-value}$. (Hosmer, D. & Lemeshow 2000). O teste é baseado na teoria da distribuição das derivadas da função logarítmica de verosimilhança, que resulta na seguinte expressão (15):

$$ST = \frac{\sum_{i=1}^n x_i (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\bar{y}(1 - \bar{y}) \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}} \quad (15)$$

Em que \bar{y} é a probabilidade de sucesso estimada; y_i é a variável dicotómica que pode tomar o valor 1 ou 0; n corresponde ao nº de observações e $\bar{y}(1 - \bar{y}) \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$ é a variância estimada.

O método para testar a significância do coeficiente de uma variável numa regressão logística é semelhante à abordagem usada na regressão linear, contudo, utiliza a função de verosimilhança para uma variável dependente dicotómica.

3.6. Estimação do intervalo de confiança

A construção dos estimadores do intervalo de confiança baseia-se na mesma teoria estatística usada para formular os testes para a significância do modelo (Hosmer, D. & Lemeshow 2000). Em particular, os estimadores do intervalo de confiança para as variáveis independentes e para o *intercept* baseiam-se nos respetivos testes de *Wald*. Os pontos “fronteira” de um intervalo de confiança $100(1 - \alpha)\%$ para o coeficiente de uma variável independente e para a constante *intercept* são dados respetivamente pelas seguintes expressões (16) e (17):

$$\hat{\beta}_1 \mp z_{1-\alpha/2} \widehat{SE}(\hat{\beta}_1) \quad (16)$$

$$\hat{\beta}_0 \mp z_{1-\alpha/2} \widehat{SE}(\hat{\beta}_0) \quad (17)$$

Onde $z_{1-\alpha/2}$ é o ponto superior da distribuição normal padrão e \widehat{SE} denota um estimador do erro padrão do respetivo estimador da variável (β). Por exemplo, um intervalo de confiança, $100(1-\alpha)\%$ para a razão *odds*, é obtido calculando os seus pontos de “fronteira”, para o coeficiente β_k , sendo de seguida deduzidos na forma exponencial (ver expressão (18)).

$$e^{\hat{\beta}_1 \pm z_{1-\alpha/2} \widehat{SE}(\hat{\beta}_1)} \quad (18)$$

A título de exemplo, posteriormente no caso de estudo, é possível verificar que, um acidente envolvendo um atropelamento de peões apresenta uma razão *odd* para a variável independente “Localização” de 7,847. Com um intervalo de confiança de 95% com base no teste *Wald*, este valor pode variar entre 4,376 e 14,068. (Atropelamento de peões = 1, ($\hat{\beta}_1 = 2,06013$, $\widehat{SE} = 0,2979$))

$$e^{\hat{\beta}_1 \pm z_{1-\alpha/2} \widehat{SE}(\hat{\beta}_1)} = e^{2.06 - 0.2979 * 1.96} = 4,3765$$

$$e^{\hat{\beta}_1 \pm z_{1-\alpha/2} \widehat{SE}(\hat{\beta}_1)} = e^{2.06013 + 0.2979 * 1.96} = 14,0696$$

Onde 1.96, é uma constante retirada da tabela de distribuição de *t-student* ($z_{\alpha/2} = 0.025; n = \infty$), o que significa que 95% de todas as médias amostrais cairão dentro de $\pm 1.96 \times SE$ da média μ .

3.7. Testes de ajuste dos modelos

Depois de estimados os valores dos coeficientes das covariáveis, é necessário realizar um teste de qualidade do ajuste (*goodness of fit*) para determinar o quão bem o modelo se ajusta às observações feitas (Lu et al. 2008). Por outras palavras, pretende-se avaliar se o modelo construído descreve bem ou mal a ocorrência das variáveis dependentes (Allison 2014). O *software SAS* oferece a possibilidade de correr dois testes de qualidade de ajuste, o *Qui quadrado de Pearson e deviance* e o teste *Hosmer and Lemshow*. As hipóteses a testar são as seguintes:

H_0 : O modelo ajusta-se aos dados

vs

H_1 : O modelo não se ajusta aos dados

3.7.1. Teste de ajuste Qui quadrado de Pearson e Deviance

O Qui-quadrado de *Pearson* é uma das estatísticas de teste utilizadas para avaliar a qualidade de ajuste dos modelos, sendo definido pela expressão (19) ((Hosmer, D. & Lemeshow 2000) citado por (Maroco 2007)).

$$X_p^2 = \sum_{j=1}^J \left(\frac{y_j - n_j \hat{\pi}_j}{n_j \hat{\pi}_j (1 - \hat{\pi}_j)} \right)^2 = \sum_{j=1}^g \frac{(O_j - E_j)^2}{E_j} \quad (19)$$

onde y_j é o número de sucessos na célula j , $\hat{\pi}_j$ é a probabilidade estimada na célula j , e n_j é o número de elementos da célula j ou, usando a notação tradicional do teste do Qui-quadrado, O_j E_j são respetivamente o número de sucessos observados e esperados da célula j .

A estatística *Deviance* é também usada por vários autores e é definida através da expressão (20) (Maroco 2007).

$$D = 2 \sum_{j=1}^J \left[y_j \ln \left(\frac{y_j}{n_j \hat{\pi}_j} \right) + (n_j - y_j) \ln \left(\frac{n_j - y_j}{n_j (1 - \hat{\pi}_j)} \right) \right] \quad (20)$$

Sob H_0 e para grandes amostras, X_p^2 e D apresentam distribuição assintótica Qui-quadrado com $J-p-1$ graus liberdade e rejeita-se H_0 se o *p-value* for inferior ou igual ao nível de significância fixado. Contudo, segundo Maroco (Maroco 2007), estas duas estatísticas de ajuste apresentam algumas limitações. Para grandes amostras e se o modelo incluir variáveis quantitativas, caso em que o número de células é aproximadamente igual ao número de elementos na amostra ($J \approx n$) estas não podem ser usadas com dados individuais, já que a distribuição estatística de teste não é válida (o teste Qui-quadrado exige que 80% dos $E_j \geq 5$). Tendo em conta este aspeto, Hosmer e Lemeshow propuseram uma outra estatística para o ajustamento no modelo.

3.7.2. Teste de ajuste *Hosmer-Lemeshow*

Este teste organiza as observações feitas em grupos decís (10) com tamanho aproximadamente igual e definidos com base nos valores das probabilidades estimadas da variável dependente (do tipo dicotómica), que são distribuídas pelos vários grupos do menor para o maior valor.

De seguida testa uma relação qui-quadrado entre os valores observados e esperados (ver expressão(19)), através de uma tabela $g \times 2$, com $g - t$ graus de liberdade, em que g , é o nº de subgrupos criados em que por definição $t=2$ (Hosmer, D. & Lemeshow 2000). O teste assume a hipótese nula de que não há diferença entre os valores esperados e os valores observados da variável dependente, significando que o modelo enquadra-se bem nos dados (Lu et al. 2008). A estatística de ajuste de Hosmer e Lemeshow é obtida através da seguinte expressão (Hosmer, D. & Lemeshow 2000):

$$\chi_{HL}^2 = \sum_{j=1}^g \frac{(O_j - \hat{n}_j \bar{\pi}_j)^2}{\hat{n}_j \bar{\pi}_j (1 - \bar{\pi}_j)} \sim \chi_{g-2}^2 \quad (21)$$

Onde g é o número de subgrupos; O_j é o número de sucessos no j -ésimo grupo; \hat{n}_j é o número de observações no j -ésimo grupo e $\bar{\pi}_j$ é a probabilidade de sucesso estimada no j -ésimo grupo.

O resultado do teste é um valor p -value que varia de 0 a 1, o qual indica o quão bem o modelo se ajusta aos dados (quanto maior o valor, melhor o ajuste). Quando o teste não é significativo a um nível de significância α (p -value $\geq \alpha$), a hipótese nula não pode ser rejeitada, significando que o modelo se ajusta bem aos dados. Por outro lado, se p -value $< \alpha$ rejeita-se H_0 e temos H_1 , indicando que o modelo não se ajusta aos dados, ou seja, é um modelo que não descreve adequadamente a variável dependente e não deve ser usado.

Devido a algumas restrições apresentadas pelas estatísticas *Deviance* e *Pearson Qui-square*, e com base na bibliografia consultada, foi adotado no caso de estudo a estatística de Hosmer e Lemshow para avaliação do poder de ajuste dos modelos de regressão logística.

3.8. Regressão Logística Binária Aplicada à Análise de Dados de Sinistralidade Rodoviária

O presente subcapítulo apresenta uma pequena revisão bibliográfica acerca de estudos anteriormente efetuados, nos quais, foi aplicada a técnica de regressão logística binária para a análise de dados de acidentes rodoviários.

Em 2002, Ali (Al-ghamdi 2002), desenvolveu um estudo acerca da influência dos fatores contribuintes dos acidentes na gravidade dos mesmos aplicando o método da regressão logística. O estudo baseou-se numa amostra de 560 condutores envolvidos em acidentes rodoviários com vítimas ocorridos em Riyadh, capital da Arábia Saudita, entre agosto de 1997 e novembro de 1998.

Analisando os dados recolhidos da base de dados, os tipos de acidentes mais representativos foram atropelamento (50%) e a colisão de veículos (aproximadamente 40%). Quanto ao tipo de colisão, a colisão frontal, a colisão lateral e o despiste foram as ocorrências mais registadas com percentagens de aproximadamente os 37%, 20% e 30% respetivamente. O período do dia no qual se verificaram mais acidentes foi durante o fim de tarde (aproximadamente 70%). O tipo de veículo mais envolvido foi o ligeiro de passageiros e as ações dos condutores mais verificadas foram o excesso de velocidade (37%), a circulação em sentido contrário (15%) e a não cedência de passagem (13%).

Para a construção dos modelos de regressão foi feito um tratamento de dados no qual a variável dependente foi codificada segundo a gravidade do acidente (“1” para acidente com vítimas mortais, e “0” para acidente sem vítimas mortais) e 9 variáveis categóricas explicativas, correspondentes aos fatores contribuintes para a ocorrência de acidentes fatais (localização, tipo de acidente, tipo de colisão, período do dia, natureza do acidente, idade do condutor culpado, nacionalidade, tipo de veículo e situação da licença de condução), foram consideradas. Recorrendo ao método de regressão logística foi usada a função de ligação *logit* e os coeficientes das variáveis foram estimados segundo o método da máxima verosimilhança. Foi testada a estatística de *Wald*, testando a hipótese nula de que os coeficientes das variáveis independentes são nulos a um nível de significância de 5%. Com base nesse teste foi adotado o método de seleção *backward* para remover as variáveis não significantes na ocorrência do sucesso (acidente fatal=1). Os resultados obtidos mostraram que as duas variáveis, localização e natureza do acidente, aumentam as hipóteses de ocorrência de um acidente fatal. Quanto à localização, a ocorrência de um acidente fora das interseções aumenta a probabilidade do acidente ser fatal 2,64 vezes em relação a um acidente ocorrido numa interseção (*odds ratio* = 2,64). Em relação à natureza do acidente, a circulação em sentido contrário e o desrespeito pelo sinal vermelho influencia positivamente a ocorrência de acidentes fatais, apresentando *odds* de 3,035 e 2,72 respetivamente.

Em 2016, Naznin *et. al.* (Naznin et al. 2016), aplicaram o método da regressão logística, para levar a cabo uma investigação sobre os fatores contribuintes para a ocorrência de acidentes fatais envolvendo elétricos na cidade de Melbourne, Austrália. A base de dados de acidentes (“*Tram Incident Database*”), fornecida pela entidade gestora da rede de elétricos da cidade de Melbourne, *Yarra Trams*, divide os acidentes em duas categorias: “Categoria A” para acidentes fatais ou graves, e “Categoria B” para acidentes ligeiros. Neste estudo foram considerados os acidentes ocorridos entre 2009 e 2013, tendo sido registados neste período 4296 acidentes envolvendo elétricos nas 25 linhas que compõem a rede de elétricos da cidade.

A variável dependente é dicotómica (binária) e toma os valores, de 1 para “acidente fatal” e 0 para “acidente não-fatal”. Foram selecionadas um conjunto de 12 variáveis explicativas tendo em conta as características dos condutores dos elétricos (idade e anos de experiência), as características dos elétricos (altura, comprimento e idade), os fatores ambientais (estação do ano, condições de luminosidade e dia da semana) e as características da estrada (volume de tráfego, uso do solo, prioridade da linha e velocidade média). Os coeficientes das variáveis foram obtidos através do método da máxima verosimilhança e o rácio de verosimilhanças foi usado para testar o poder estatístico do modelo. Seis das doze variáveis independentes foram significativas na ocorrência do sucesso (acidente fatal=1) a um nível de significância de 95% (*p-value* ≤ 0,05).

Os resultados obtidos pela investigação mostram que os fatores que mais influenciaram a ocorrência de acidentes fatais foram: a altura baixa dos elétricos (*OR*=2,722), a antiguidade

dos elétricos, - com mais de 14 anos ($OR=1,027$), a circulação numa linha com prioridade ($OR=1,410$) e velocidades baixas de circulação ($OR=1,118$). Quando o tráfego é intenso, durante o Inverno e o Outono, a razão *odds* é inferior a 1 significando que nestas condições a probabilidade de ocorrência do acidente é baixa, ou seja, este tipo de acidentes tende a ocorrer com baixo volume de tráfego, durante a Primavera e o Verão.

Em 2008, Jian Lu *et. al.* (Lu et al. 2008) realizaram um estudo sobre acidentes rodoviários com vítimas mortais, ocorridos nas zonas em obras localizadas no estado norte-americano da Florida entre 2002 e 2005, tendo aplicado para o efeito o método da regressão logística binária. Durante esse período foram registados um total de 421 acidentes fatais. Os dados relativos a estes acidentes, foram obtidos a partir da informação registada no boletim de acidentes do estado da Florida (*Crash Analysis Reporting (CAR)*), tendo sido seleccionadas 20 variáveis para o desenvolvimento dos modelos. A análise estatística exploratória evidenciou que o atropelamento de peões (13%), a colisão lateral (14%) e a colisão traseira (12%) foram os principais tipos de acidente ocorridos, enquanto que a condução descuidada (39%) foi o fator que mais contribuiu para estas ocorrências, seguido da não cedência de passagem (10%).

Ao aplicar a regressão logística binária foi utilizada a função *logit*, o método de seleção de variáveis foi o *stepwise with fast backward* e o teste de ajuste dos modelos adotado foi o teste de *Hosmer-Lemeshow*. Os modelos obtidos mostraram que, o excesso de velocidade, a influência de uma interseção, a superfície do pavimento, o mau tempo e a não cedência de passagem tendem a aumentar a probabilidade de ocorrência de colisões laterais. Os acidentes por atropelamento de peões tendem a ocorrer em meio urbano, fora das interseções e durante a noite. A ocorrência de colisões traseiras é influenciada por várias ações dos condutores. O desrespeito do limite de velocidade, a circulação em marcha normal, e a não cedência de passagem tendem a aumentar este tipo de acidente, assim como fatores relacionados com o ambiente rodoviário, como o meio urbano, durante o período noturno e na presença de outro tipo de pavimento que não o betuminoso.

Considerando a classe etária dos condutores envolvidos, este estudo tem em conta apenas os condutores considerados responsáveis pela ocorrência do acidente. Acidentes em que o condutor responsável pelo acidente pertence ao grupo etário jovem (com menos de 25 anos de idade), tendem a ocorrer em vias estreitas ou no período noturno. Quando o condutor responsável pelo acidente pertence ao grupo etário adulto (com idade entre os 25 e os 64 anos), os fatores que mais contribuem para a ocorrência de acidentes são a condução sob a influência de álcool e o envolvimento de um veículo pesado. Nos acidentes em que o condutor culpado pertence ao grupo etário idoso (idade igual ou superior a 65 anos), as interseções (este estudo classifica as interseções como acesso a vias, pontes e passagens de nível) constituem o principal fator que aumenta a probabilidade de ocorrência do acidente.

Numa outra perspectiva, Li and Bai (Li and Bai 2009), recorreram a modelos de regressão logística para avaliar a eficácia dos dispositivos de controlo de tráfego na prevenção de acidentes rodoviários nos troços em obras localizados no estado norte-americano do Kansas e ocorridos entre Janeiro de 2003 e Dezembro de 2004. Durante o período em estudo, foram registados 655 acidentes com vítimas, dos quais 29 foram fatais.

As medidas de controlo temporário de tráfego consideradas englobaram agentes sinaleiros devidamente qualificados para a orientação do tráfego ao longo da zona em obras, sinalização vertical (sinal *stop*/proibição de ultrapassagem), sinalização luminosa e sinalização horizontal orientadora do tráfego. Com recurso à base de dados *KDOT (Kansas Department of Transportation)*, para testar a eficácia das medidas aplicadas, os autores consideraram em três tipos de variáveis: os dispositivos de controlo de tráfego como variável dependente, a gravidade dos acidentes e as ações praticadas pelos condutores como variáveis explicativas (independentes). Para determinar a significância das variáveis explicativas em cada modelo foram usados métodos como a razão de verosimilhanças, o teste *Wald*, e o teste *Score*. O nível de significância usado foi de 0,1, ou seja, uma variável é considerada significativa na ocorrência de um dado acontecimento quando pelo menos um teste apresenta um *p-value* menor que 0,1.

Analisando os resultados obtidos, os autores concluíram que a presença de um agente sinaleiro é eficaz, uma vez que reduz a probabilidade da ocorrência de acidentes em zonas em obras. O modelo mostra que estes agentes reduzem a probabilidade de ocorrência de acidentes fatais em 4%, de acidentes por distração em 8%, de acidentes por excesso de velocidade em 8% e de acidentes por mau controlo do tráfego em 7%. A utilização do sinal *stop* não foi eficaz na prevenção de acidentes nestas zonas, aumentando a probabilidade de ocorrência de um acidente por desrespeito da distância de segurança em 13%, ao contrário do sinal de proibição de ultrapassagem, que reduz a probabilidade de ocorrência por controlo indevido do tráfego em 3%. A sinalização luminosa é também eficaz na prevenção de acidentes nas zonas em obras, já que mostrou reduzir a probabilidade de ocorrência de acidentes fatais em 6%, assim como a sinalização horizontal, que reduz a gravidade dos acidentes em 2%, os acidentes por excesso de velocidade em 5% e os acidentes por desrespeito da distância de segurança em 3%.

A investigação permitiu assim concluir que para os dados considerados, um agente sinaleiro, a sinalização luminosa e horizontal, tiveram um efeito positivo na redução da probabilidade de ocorrência de acidentes nas zonas em obras.

Weng and Meng (Weng and Meng 2011) aplicaram a regressão logística binária no estudo do risco de lesão dos condutores em diferentes tipos de zonas em obras tendo em conta diversos fatores de risco. Estes autores classificaram as zonas em obras em três tipos: zonas em obras de construção, zonas em obras de manutenção e zonas em obras de rotina. Foram consideradas zonas em obras de construção aquelas que apresentam uma duração dos trabalhos superior a 3 dias e para as quais é necessário preparar um plano de controlo de tráfego para garantir a

segurança da zona onde decorrem os trabalhos. As zonas em obras de manutenção são aquelas cujas intervenções são de curta duração, entre uma hora e três dias. Uma vez que a duração dos trabalhos é mais curta em comparação com as zonas em obras de construção, podem ser aplicadas medidas de controlo de tráfego mais “suaves” uma vez que estas zonas apresentam em geral menor densidade de trabalhos. As zonas de obra de rotina são as que implicam ações de muito curta duração (menos de uma hora), onde os trabalhadores e o equipamento podem avançar ao longo da via a velocidades muito reduzidas.

Aplicando o método da regressão logística e uma vez que o estudo se foca no risco de lesão dos condutores nos acidentes ocorridos nas zonas em obras (incluindo vítimas mortais), a variável dependente toma o valor 1 para os condutores com lesões ou vítimas mortais e o valor 0 para os condutores que saíram ilesos do acidente. Foram consideradas 16 variáveis explicativas relativas ao ambiente rodoviário, aos condutores e aos veículos intervenientes. O caso de estudo foi desenvolvido com base nos dados recolhidos entre 2001 e 2006 nos 51 estados norte-americanos, tendo sido registados durante esse período um total de 11594 condutores envolvidos, dos quais 10666 em acidentes ocorridos nas zonas em obras de construção, 797 nas zonas em obras manutenção e 131 nas zonas em obra de rotina. Através do procedimento *logit* foram obtidos 3 modelos de regressão logística, um para cada tipo de zona em obras e a seleção de variáveis foi feita a um nível de significância de 0,1.

O estudo concluiu que 5 dos fatores considerados aumentam significativamente o risco de lesão dos condutores nos três tipos de zonas em obras considerados: o desenvolvimento da estrada em alinhamento reto, o envolvimento de veículos pesados, o atropelamento de peões, a colisão traseira, e a idade do veículo. Por outro lado, os dispositivos de controlo de tráfego e as infraestruturas de uso restrito, reduzem o risco de lesão do condutor. No estudo, os fatores de luminosidade, o sexo dos condutores e o dia da semana, tiveram diferentes impactos nos três tipos de zonas em obras analisadas. Nos dias de fim-de-semana, os condutores envolvidos nos acidentes nas zonas em obra de construção tendem a sofrer lesões ou a serem vítimas mortais, enquanto que nas zonas em obras de manutenção e de rotina esta situação verifica-se durante os dias da semana laboral.

Em 2016, Claire Silverstein *et. al.* compararam os fatores que influenciam a ocorrência de colisões traseiras e laterais dentro e fora das zonas em obra com recurso a dois métodos estatísticos: regressão binomial negativa e regressão logística múltipla (através do método *logit*) (Silverstein *et al.* 2016). Os autores recolheram dados sobre os acidentes ocorridos nos Estados Unidos entre 2010 e 2012. Apenas os acidentes com a totalidade do registo de dados efetuado foram selecionados para o estudo. Assim, foram analisados 856 acidentes com vítimas mortais ocorridos nas zonas em obras e 50014 acidentes fatais ocorridos fora das mesmas.

Os resultados mostraram que tanto dentro como fora das zonas em obras o tipo de colisão mais frequente foi a colisão traseira. De seguida foram construídos modelos estatísticos para testar

os fatores que influenciam a ocorrência de colisões traseiras e laterais. A começar pelo modelo de regressão binomial negativa, os autores verificaram que nas zonas em obras um traçado em planta curvo e a presença de precipitação diminuem a probabilidade de ocorrência de acidentes. Por outro lado, a imposição de um limite de velocidade e estradas do tipo multivias aumentam a probabilidade de ocorrência de acidentes. Fora das zonas em obras o cenário é similar, entram apenas duas novas variáveis que têm influência positiva na ocorrência: distração por parte dos condutores e baixas condições de luminosidade.

Segundo o modelo *Logit* aplicado aos dados de acidentes ocorridos nas zonas em obras, a presença de precipitação, fracas condições de luminosidade e um traçado em planta curvo, diminuem a probabilidade de ocorrência de colisões laterais e traseiras. Em contrapartida, a imposição de um limite de velocidade e estradas do tipo multivias revelam ter influência positiva neste tipo de acidente. Fora destas zonas, a tendência é a mesma. Os autores concluíram que condições atmosféricas favoráveis e traçados geométricos com desenvolvimento reto aumentam a probabilidade de ocorrência destes tipos de colisão, e ainda, que os acidentes nas zonas em obras tendem a ser mais graves do que acidentes ocorridos fora destas zonas.

A nível nacional, em 2017 foi realizado um estudo acerca do impacto das zonas em obras nas condições de operação, na segurança da infraestrutura e nos custos associados aos utentes da estrada (Santos and Picado-Santos 2017). Para determinar o seu impacto das zonas em obras na segurança da infraestrutura foi aplicado o método da regressão logística binária aos dados oficiais dos acidentes ocorridos em Portugal continental entre os anos de 2010 e 2012, tendo sido desenvolvidos modelos segundo os tipos de colisão mais frequentes (colisão traseira, colisão lateral, despiste simples e atropelamento de peões).

Os resultados dos modelos indicam que a probabilidade de ocorrência de despistes simples aumenta em meio rural, com o envolvimento de veículos não-pesados, fora das interseções, num traçado geométrico com perfil inclinado e durante a período noturno. As colisões laterais tendem a ocorrer nas interseções, com o envolvimento de veículos pesados, com a circulação em marcha normal, e com o desrespeito pela sinalização vertical. A probabilidade de ocorrência de uma colisão traseira aumenta em meio rural, numa estrada com limite de velocidade superior a 90 km/h, com o envolvimento de pelo menos um veículo pesado, quando pelo menos um dos condutores envolvidos circula em excesso de velocidade e num traçado em perfil de patamar. Por fim, os atropelamentos tendem a ocorrer em meio urbano, em pavimentos com boas condições de aderência (seco e limpo) e fora das interseções.

Capítulo 4 - Caso de Estudo: Sinistralidade Rodoviária nas Zonas em Obras em Portugal Continental

Capítulo 4 - Caso de estudo: Sinistralidade Rodoviária nas Zonas Em Obras em Portugal Continental

4.1 - Metodologia

4.2 - Análise Estatística Exploratória

4.3 - Modelos de Regressão Logística Binária

4.4 - Análise Comparativa dos Resultados Obtidos com as Funções de Ligação *Logit* e *Probit*.

4.5 - Análise Global dos Resultados

Capítulo 4 - Caso de estudo: Sinistralidade rodoviária nas zonas em obras em Portugal continental

4.1 - Metodologia

O caso de estudo apresentado neste capítulo baseia-se na análise e tratamento da base de dados nacional fornecida pela Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária (ANSR) correspondente aos acidentes rodoviários com vítimas ocorridos nas zonas em obras ou devido à presença de obstáculos no pavimento, em Portugal continental durante o triénio de 2013 a 2015. O registo deste tipo de acidentes é feito no campo “B4.3 - Obstáculos ou Obras” do Boletim Estatístico de Acidentes de Viação (BEAV), o qual apresenta as seguintes opções de preenchimento: “corretamente sinalizados”, “insuficientemente sinalizados”, “não sinalizados” e “inexistentes”. Durante o processo de análise da base de dados fornecida, organizada por condutor interveniente no acidente, verificou-se que uma quantidade significativa de registos, 23,4%, não apresentavam o campo B4.3 do boletim corretamente preenchido pelas das autoridades policiais, situação à qual a entidade fornecedora da base de dados (ANSR) atribuiu a designação de “Não definido”. Estes dados foram excluídos da base de dados usada na análise, uma vez que, estando o campo incorretamente preenchido, não se sabe efetivamente se o acidente ocorreu ou não numa zona em obras ou devido à presença de um obstáculo no pavimento.

Tendo em conta que um acidente pode envolver mais do que um condutor ou veículo, a base de dados original foi organizada de duas formas diferentes, dando origem a duas bases de dados: uma com a informação organizada por acidente e a outra com a informação organizada por condutor/veículo interveniente. Após a preparação e organização dos dados procedeu-se a uma análise estatística exploratória com recurso ao programa de análise estatística SAS® *Studio University Edition*.

Numa primeira fase foi elaborado um conjunto de gráficos para identificar os fatores predominantes para cada variável analisada. De seguida a base de dados foi preparada para as análises de regressão binária, tendo sido escolhidas para o efeito 16 variáveis explicativas. Aos fatores predominantes de cada variável foi atribuído o valor “1” (ocorrência do fator predominante), enquanto que aos restantes foi atribuído o valor “0” (não ocorrência do fator predominante). De seguida foram desenvolvidos com o programa SAS® *Studio University Edition* modelos de regressão logística binária para analisar a influência desses fatores na ocorrência dos acidentes por tipo de acidente, fator contribuinte e grupo etário dos condutores envolvidos. A função de ligação escolhida foi o *logit*, o que possibilitou uma melhor interpretação dos resultados. O rácio de verosimilhanças, o teste *Wald* e o teste *Score* foram usados para testar a significância do modelo global. O teste de *Wald* foi ainda adotado para testar individualmente

a significância das variáveis explicativas. O método de seleção de variáveis adotado foi o *stepwise with fast backward*, com um nível de significância de 0,05 para adicionar ou retirar variáveis do modelo (um nível de significância reduzido impõe maiores restrições na seleção de variáveis, tornando os modelos mais fiáveis, uma vez que traduzem melhor o sucesso da variável dependente). Por fim, o teste de ajustamento dos modelos aos dados adotado foi o de *Hosmer and Lemeshow*.

Foi ainda efetuada uma comparação dos resultados dos modelos usando funções de ligação *probit* e *logit*.

A interpretação dos coeficientes obtidos para os modelos permite identificar os principais fatores de risco envolvidos na ocorrência dos acidentes ocorridos nas zonas em obras.

4.2 - Análise estatística exploratória

4.2.1 - Caracterização geral

A base de dados fornecida incorpora informação sobre 3481 condutores/veículos envolvidos em 2268 acidentes ocorridos nas zonas com obstáculos ou em obras entre 2013 e 2015.

Uma vez que parte dos registos da base de dados não apresentam informação clara sobre a ocorrência ou não do acidente numa zona com obstáculos no pavimento ou em obras, a Tabela 4 apresenta o número de acidentes e o número de registos (condutores/veículos intervenientes) correspondentes ao campo “B4.3 - Obstáculos ou Obras” devidamente preenchido, assim como as situações com a indicação “Não definido”. Ao longo do período de análise verificou-se que a tendência da proporção de registos incorretamente preenchidos é decrescente, com uma percentagem de 24,1% em 2013, 23,0% em 2014 e 22,9% em 2015. A mesma análise é efetuada em termos do nº de acidentes, nos quais se verificou um decréscimo na proporção de boletins indevidamente preenchidos (23,3% em 2013, 22,1% em 2014 e 20,7% em 2015).

Para aumentar a fiabilidade das análises, o caso de estudo foca-se apenas nos boletins com o campo B4.3 devidamente preenchido. Tendo em conta o descrito, o número total de condutores/veículos intervenientes e o número de acidentes a considerar nas análises passou de 3481 para 2668 e de 2268 para 1767 respetivamente (ver Tabela 4).

Tabela 4 - Número e proporção de registos (condutores/veículos intervenientes) e de acidentes com o campo B4.3 incorretamente preenchido (“Não definido”)

Ano	N.º de registos	N.º de acidentes	Campo B4.3 corretamente preenchido		% "Não definido"	
			N.º de registos	N.º de acidentes	Registos	Acidentes
2013	1272	817	965	627	24,1	23,3
2014	1115	741	859	577	23,0	22,1
2015	1094	710	844	563	22,9	20,7
Total	3481	2268	2668	1767	23,4	22,1

Esta seleção permitiu calcular a representatividade dos acidentes ocorridos nas zonas em obras ou devido à existência de obstáculos no pavimento em relação ao total de acidentes com vítimas ocorridos no período em análise, tendo-se obtido valores anuais de cerca de 2% (ver Figura 5 - Capítulo 1).

A sequência de gráficos que se segue apresenta a distribuição dos acidentes com vítimas ocorridos nas zonas de obstáculos ou em obras segundo a informação recolhida no BEAV. Os gráficos apresentados no tratamento dos dados das secções A, B e C do BEAV foram efetuados a partir da base de dados organizada por acidente. Os gráficos correspondentes ao tratamento de dados das secções D, E e F (excetuando o gráfico relativo ao nº de vítimas) foram efetuados a partir da base de dados organizada por condutor/veículo interveniente.

4.2.2 - Identificação do acidente

Neste ponto são apresentados e analisados os gráficos de distribuição dos acidentes por período do dia, por mês, por dia da semana, por localização e por distrito (Gráfico 1 a 12). A informação tratada é recolhida na secção A - “Identificação do acidente” do BEAV.

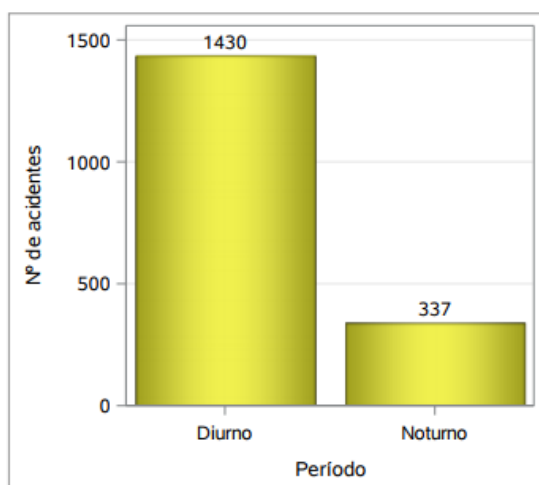


Gráfico 1 - Nº de acidentes ocorridos em zonas com obstáculos ou em obras por Período do Dia (2013-2015)

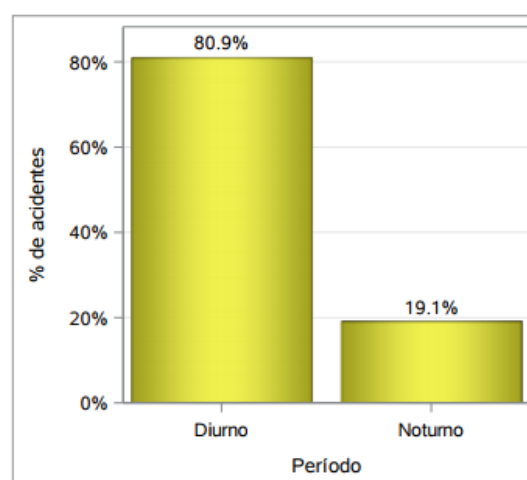


Gráfico 2 - Percentagem de acidentes ocorridos em zonas com obstáculos ou em obras por Período do Dia (2013-2015)

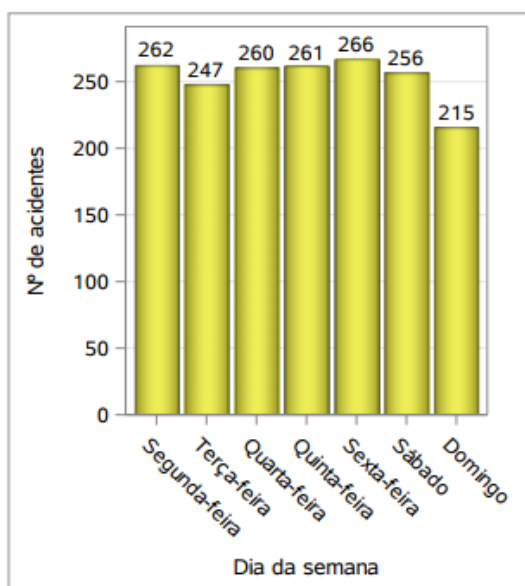


Gráfico 3 - Nº de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por Dia da Semana (2013-2015)

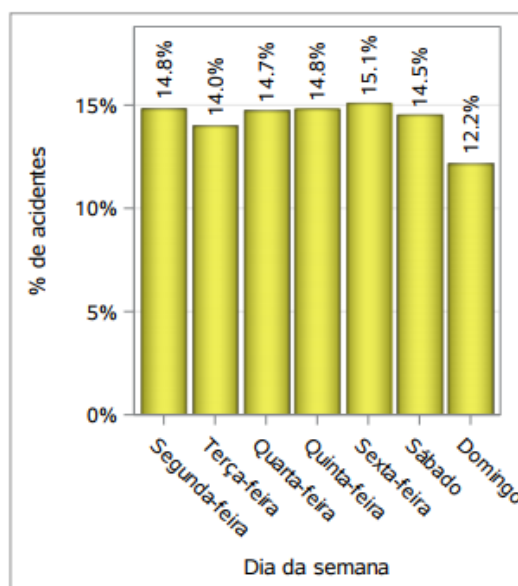


Gráfico 4 - Percentagem de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por Dia da Semana (2013-2015)

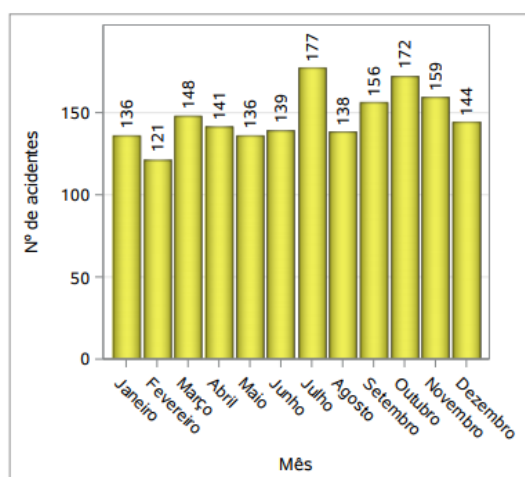


Gráfico 5 - Nº de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por Mês (2013-2015)

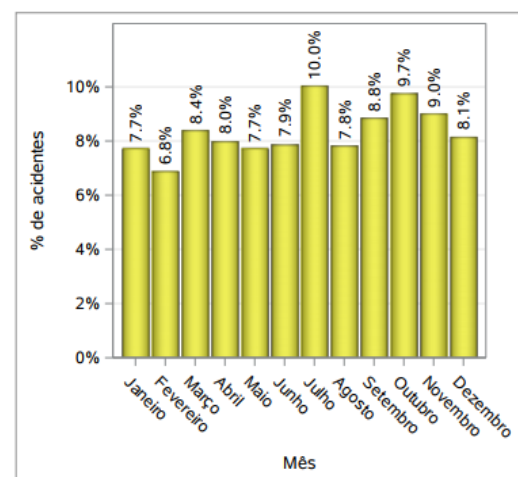


Gráfico 6 - Percentagem de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por Mês entre (2013-2015)

Os conjunto de gráficos 1 a 6 mostra a repartição de acidentes rodoviários ocorridos nos troços com obstáculos ou em obras segundo o período do dia, dia da semana e o mês em que ocorreram. A definição de período diurno e noturno considerada tem por base o estipulado no artigo 8º da lei 24/2007 de 18 de Julho, Diário da República nº137, “Condições mínimas de circulação nos troços em obra” (Diário da República 2007), sendo considerado em período diurno um acidente ocorrido entre as 7:00h e as 20:59h e em período noturno um acidente ocorrido entre as 21:00h e as 6:59h. A maior parte dos acidentes ocorreram no período diurno, com quase 90% das ocorrências registadas. Tal facto pode ser explicado pelo maior volume de tráfego e de trabalhos verificado durante este período, bem como a tendência para uma condução mais cautelosa por parte dos condutores durante o período noturno.

A distribuição de acidentes ao longo da semana é bastante uniforme, havendo algum decréscimo de ocorrências aos domingos.

Quanto ao mês, o número de ocorrências foi relativamente equilibrado ao longo do ano, havendo algum destaque para um maior número de ocorrências durante os meses de Julho e Outubro.

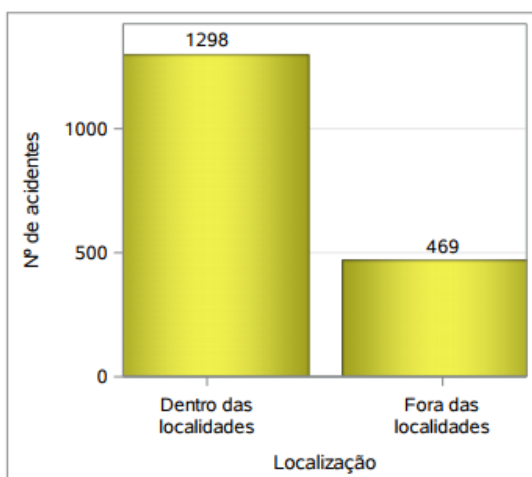


Gráfico 7 - Nº de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por Localização (2013-2015)

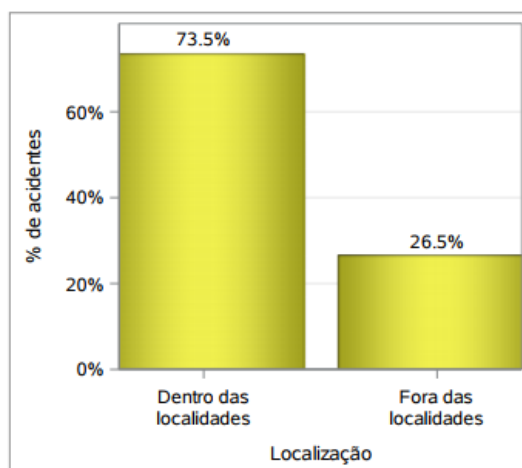


Gráfico 8 - Percentagem de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por Localização (2013-2015)

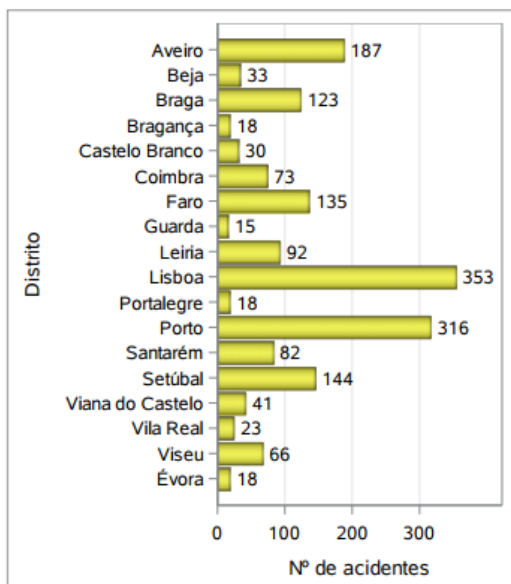


Gráfico 9 - Nº de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras distrito (2013-2015)

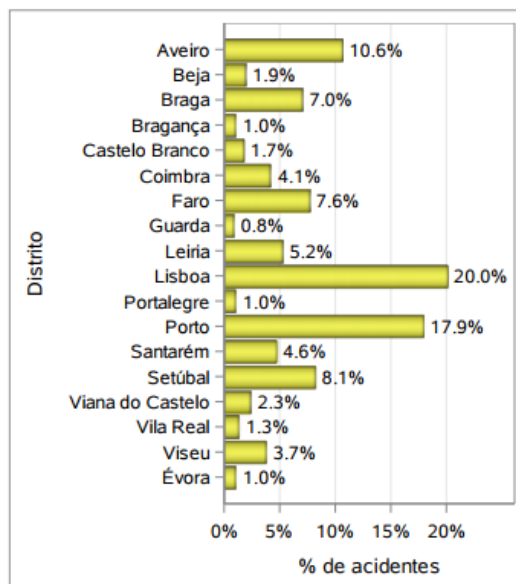


Gráfico 10 - Percentagem de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por distrito (2013-2015)

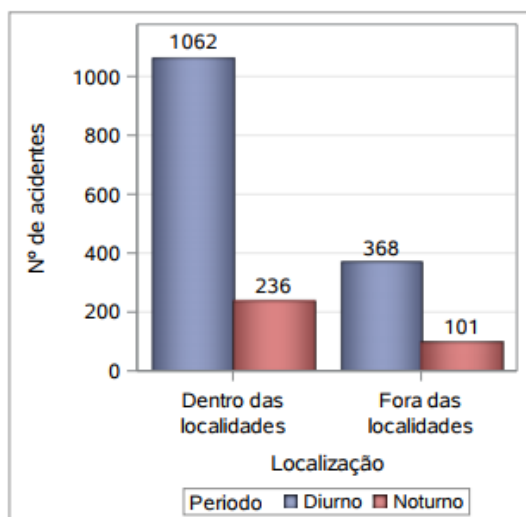


Gráfico 11 - Nº de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras dentro e fora das localidades para os períodos noturnos e diurnos (2013-2015)

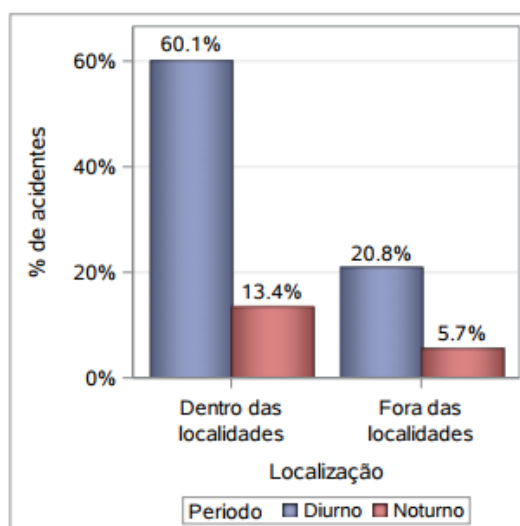


Gráfico 12 - Percentagem de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras dentro e fora das localidades para os períodos noturnos e diurnos (2013-2015)

Os gráficos 7 e 8 mostram a repartição de acidentes por localização, isto é, os acidentes ocorridos dentro e fora das localidades. A maioria das ocorrências foi registada em meio urbano (dentro das localidades), onde se concentram os maiores fluxos de tráfego.

O maior número de ocorrências registou-se nos grandes centros urbanos, no litoral do país, nomeadamente em Lisboa e no Porto (ver gráficos 9 e 10). A maior concentração de atividades, uma rede rodoviária mais extensa e a elevada densidade populacional promove fluxos de tráfego maiores e a necessidade de um maior investimento na manutenção das infraestruturas rodoviárias, o que resulta num aumento da probabilidade de ocorrência deste tipo de acidentes.

Ao repartir os acidentes por localização e período do dia (gráficos 11 e 12), verifica-se que o maior número de acidentes ocorre no período diurno, tanto dentro como fora das localidades com mais de 80% das ocorrências registadas. Esta distribuição pode ser justificada por uma predominância na escolha do período diurno para a realização de trabalhos de manutenção da estrada. No entanto, grandes intervenções de reabilitação que afetam consideravelmente o tráfego são em geral realizadas no período noturno.

A Tabela 5 apresenta um resumo dos fatores predominantes identificados nas variáveis anteriormente analisadas: período do dia, dia da semana, mês, localização e distrito.

Tabela 5 - Secção A - Identificação do acidente: resumo dos fatores predominantes

BEAV - Secção A - Identificação do acidente		
Variável	Fator predominante	Percentagem dos acidentes
Período do dia	Diurno	80,9%
	Sexta-feira	15,1%
Semana	Quinta-feira	14,8%
	Segunda-feira	14,8%
	Julho	10%
Mês	Outubro	9,7%
	Novembro	9%
Localização	Dentro das localidades	73,5%
	Lisboa	20%
Distrito	Porto	17,9%
	Aveiro	10,6%

4.2.3 - Circunstâncias externas

Neste ponto é apresentada a repartição dos acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras tendo em conta as características do ambiente rodoviário (gráficos 13 a 38). A informação tratada é recolhida na secção B - “Circunstâncias externas” do BEAV.

Os gráficos 13 a 18, demonstram a repartição de acidentes rodoviários ocorridos nos troços em obra tendo em conta as características técnicas e geométricas do traçado.

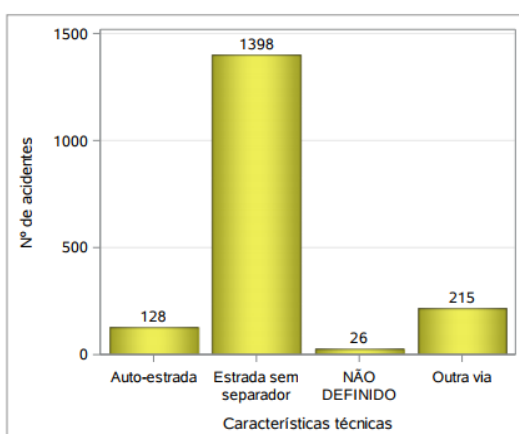


Gráfico 13 - Nº de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por Características Técnicas da Via (2013-2015)

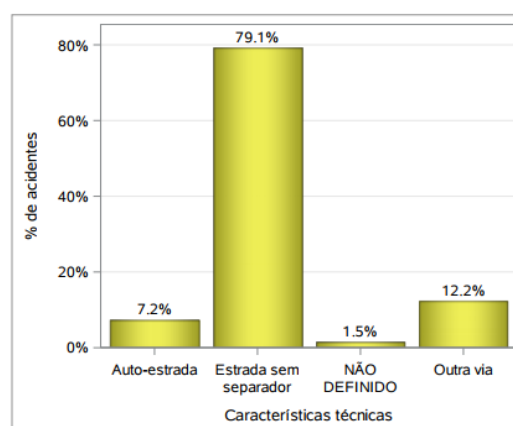


Gráfico 14 - Percentagem de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por Características Técnicas da Via (2013-2015)

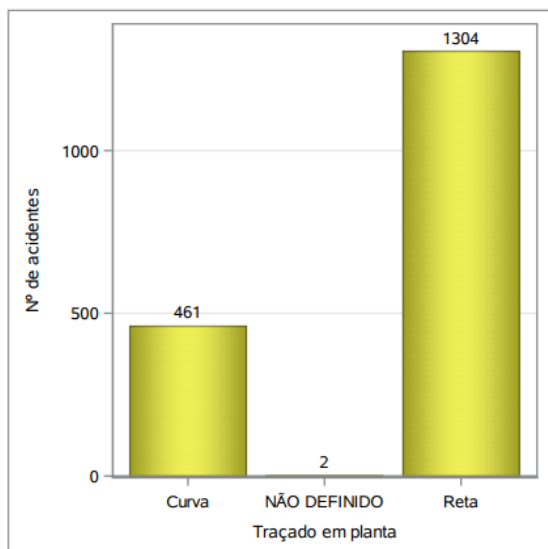


Gráfico 15 - Nº de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por Traçado da Via em Planta (2013-2015)

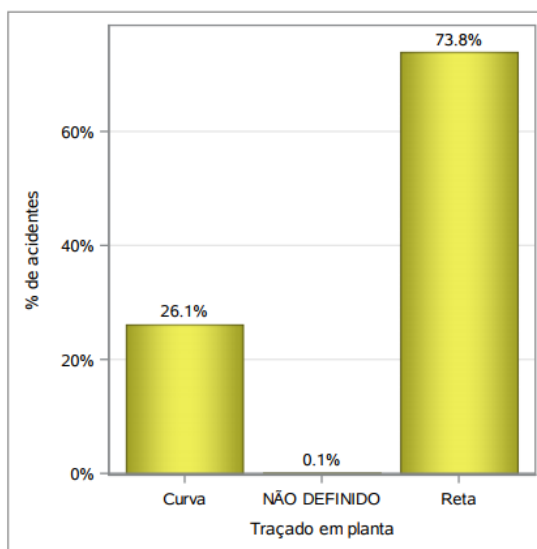


Gráfico 16 - Percentagem de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por Traçado da Via em Planta (2013-2015)

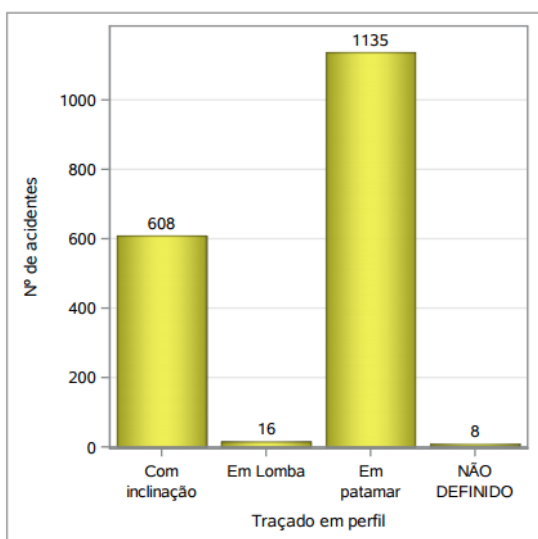


Gráfico 17 - Nº de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por Traçado da Via em Perfil (2013-2015)

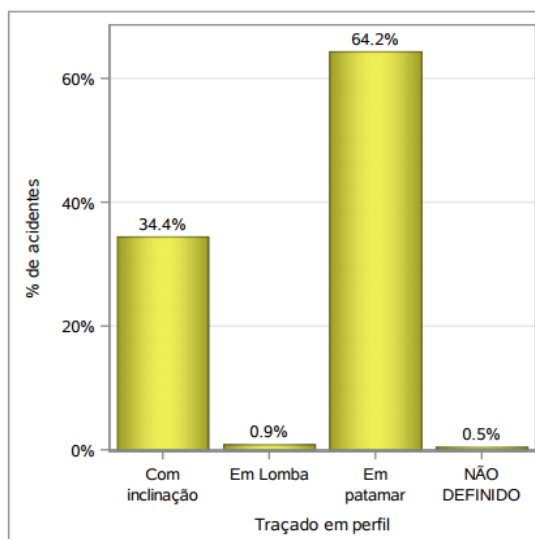


Gráfico 18 - Percentagem de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por Traçado da Via em Perfil (2013-2015)

A grande maioria dos acidentes ocorreu em estradas sem separador central. Tal facto pode ser explicado pela maior densidade de rede rodoviária deste tipo de estradas, assim como pelo maior cuidado e controlo na programação e execução dos trabalhos que é exigido às entidades gestoras da rede multivias (gráficos 13 e 14).

No que toca às características geométricas das vias, o maior número de ocorrências foi registado em vias com um traçado em planta de desenvolvimento reto (gráficos 15 e 16). Nestas condições, com maior campo de visão, o condutor tende a praticar velocidades mais elevadas e a efetuar manobras de ultrapassagem, o que aliado a uma insuficiente sinalização da zona de trabalhos pode propiciar a ocorrência de acidentes. Em contrapartida, num traçado em planta

com desenvolvimento curvo, com um campo de visão mais reduzido, o condutor tende a praticar uma condução mais cautelosa. No mesmo sentido, os gráficos 17 e 18 mostram que o maior número de acidentes ocorreu num traçado em perfil em patamar, registando quase dois terços das ocorrências.

Os gráficos 19 a 22, demonstram a repartição de acidentes rodoviários ocorridos nos troços de obstáculos ou em obras por interseção de vias consoante a sua localização (dentro ou fora das localidades).

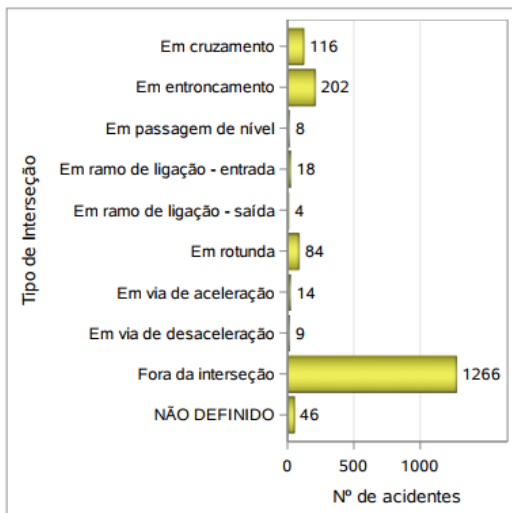


Gráfico 19 - N° de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por Interseção de Vias (2013-2015)

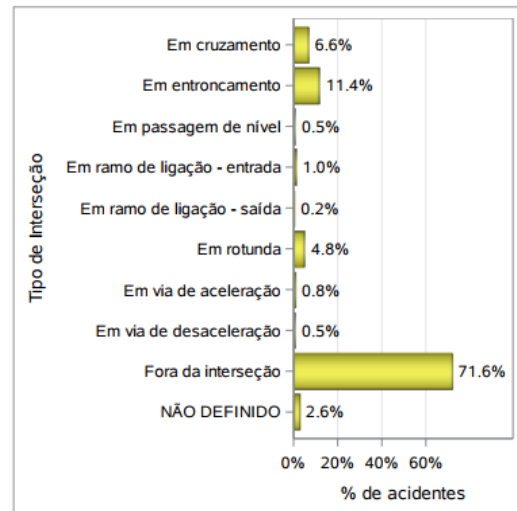


Gráfico 20 - Percentagem de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por Interseção de Vias (2013-2015)

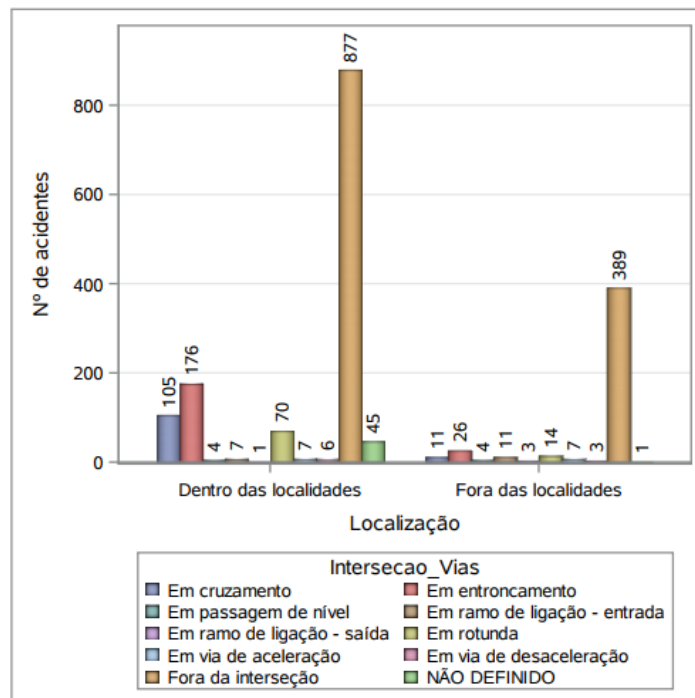


Gráfico 21 - N° de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por interseção de vias dentro e fora das localidades (2013-2015)

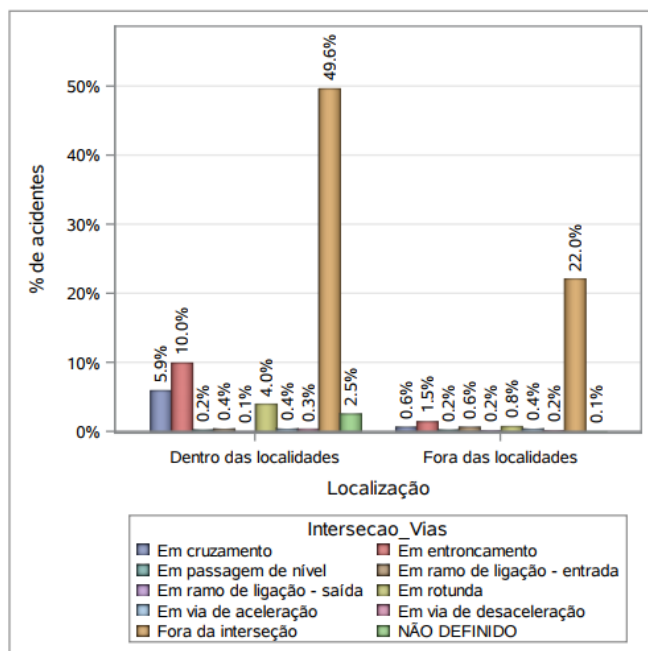


Gráfico 22 - Percentagem de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por interseção de vias dentro e fora das localidades (2013-2015)

Como se pode observar nos gráficos 19 a 22, a maior parte dos acidentes nos troços em obras ocorreu fora das interseções, verificando-se nestes locais mais de 70% das ocorrências. Nos acidentes ocorridos em interseções verificaram-se mais ocorrências nos cruzamentos, entroncamentos e rotundas. A repartição de acidentes por interseção de vias segue aproximadamente a mesma tendência dentro e fora das localidades, mas com valores absolutos diferentes, verificando-se um maior número de acidentes nas interseções em meio urbano.

Os gráficos 23 a 26 mostram a repartição de acidentes rodoviários ocorridos nas zonas com obstáculos ou em obras segundo o estado de conservação e as condições de aderência do pavimento.

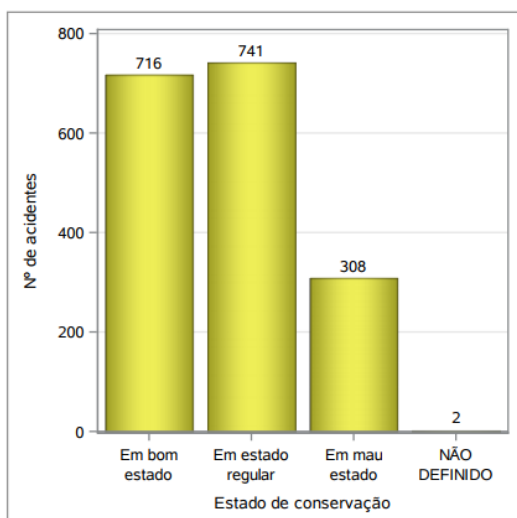


Gráfico 23 - Nº de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por estado de conservação do pavimento (2013-2015)

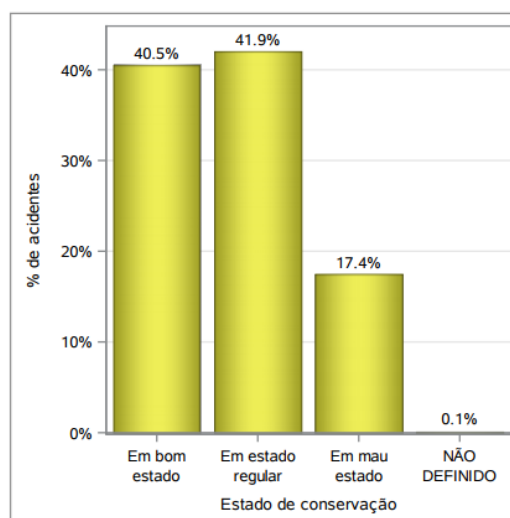


Gráfico 24 - Percentagem de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por estado de conservação do pavimento (2013-2015)

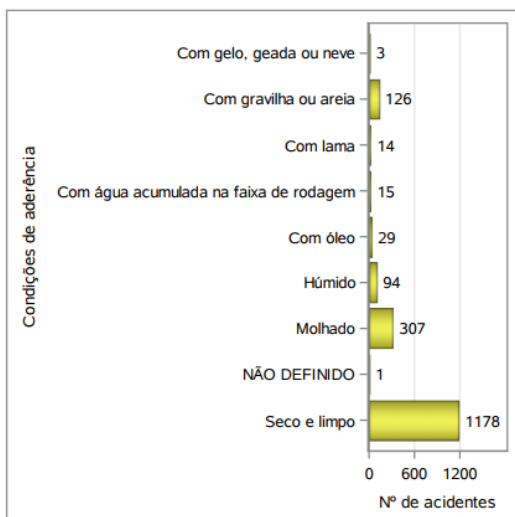


Gráfico 25 - N° de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por condições de aderência do pavimento (2013-2015)

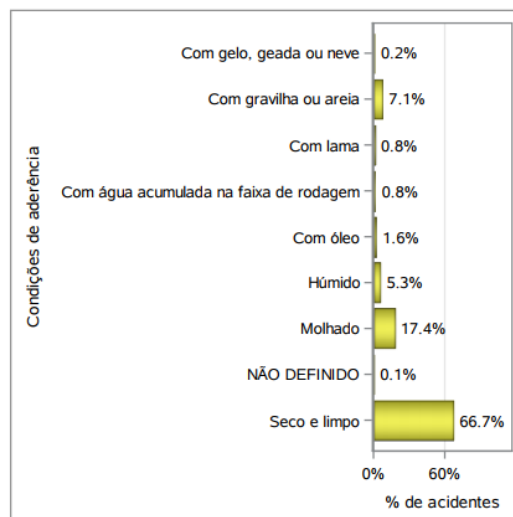


Gráfico 26 - Percentagem de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por condições de aderência do pavimento (2013-2015)

Nos gráficos 23 a 26 é possível observar que a maioria dos acidentes ocorreu em locais com o pavimento em estado bom a regular (82,4%) e com boas condições de aderência (pavimento seco e limpo) (66,7%). Estas condições favorecem a circulação a velocidades mais elevadas, o que pode aumentar o risco associado à ocorrência de acidentes nas zonas em obras, uma vez que são locais da estrada que requerem a prática de velocidades mais baixas e uma atenção adicional por parte dos condutores.

É ainda de destacar, no que respeita às condições de aderência dos pavimentos, que em segundo e terceiro lugar, com uma representatividade total de 24,5%, aparecem as condições de pavimento molhado e com gravilha e areia.

Através da observação dos gráficos 27 e 28 é possível verificar que em 40% dos acidentes os troços com obstáculos ou em obras estavam insuficientemente sinalizados ou não sinalizados, o que representa uma proporção bastante significativa.

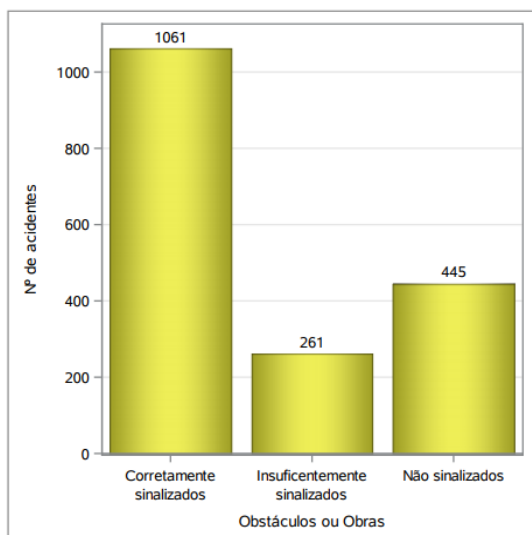


Gráfico 27 - Nº de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por Obstáculos ou Obras (2013-2015)

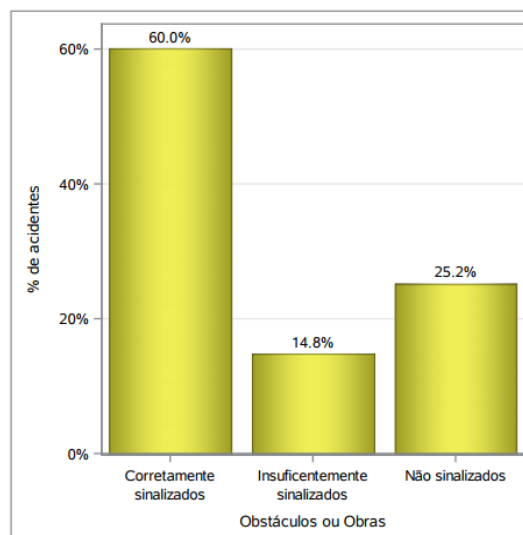


Gráfico 28 - Percentagem de acidentes ocorridos em zonas de em obstáculos ou obras por Obstáculos ou Obras (2013-2015)

Nestes locais verifica-se uma redução temporária do nível de serviço da via, nomeadamente associada à prática de velocidades mais baixas e à existência de obstáculos e trabalhadores próximos das vias de circulação, o que requer uma atenção especial por parte dos condutores. Estes aspetos reforçam a importância de estes locais estarem corretamente sinalizados, uma vez que é necessário alertar os condutores para a proximidade destas zonas e para as mudanças das condições de circulação, assim como orientar o tráfego em toda a extensão da zona de trabalhos.

A fiabilidade da informação registada neste campo do BEAV depende fortemente da capacidade de avaliação da colocação da sinalização nestas zonas por parte das autoridades responsáveis pelo preenchimento dos boletins no local do acidente. Este aspeto é igualmente importante no preenchimento de outros campos do BEAV, como por exemplo na avaliação do estado do pavimento. Nesse sentido, a promoção da formação dos agentes nestes e noutros aspetos técnicos contemplados no BEAV, por forma a melhorar a qualidade e o uso da informação recolhida sobre sinistralidade rodoviária, deve ser promovida.

O conjunto de gráficos 29 a 34 demonstra a repartição de acidentes nas zonas de obstáculos ou obras tendo em conta o tipo de sinalização utilizada nestes troços.

Análise de Dados de Sinistralidade Rodoviária nas Zonas em Obras

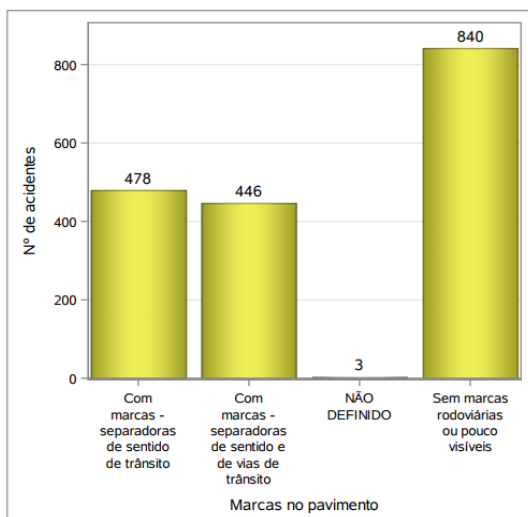


Gráfico 29 - Nº de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por Sinalização: Marcas no pavimento (2013-2015)

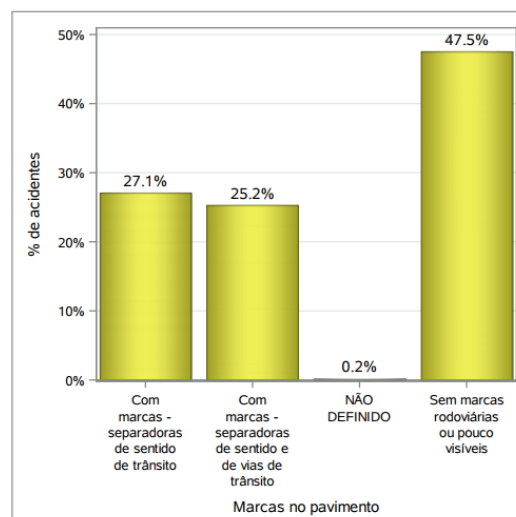


Gráfico 30 - Percentagem de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por Sinalização: Marcas no pavimento (2013-2015)

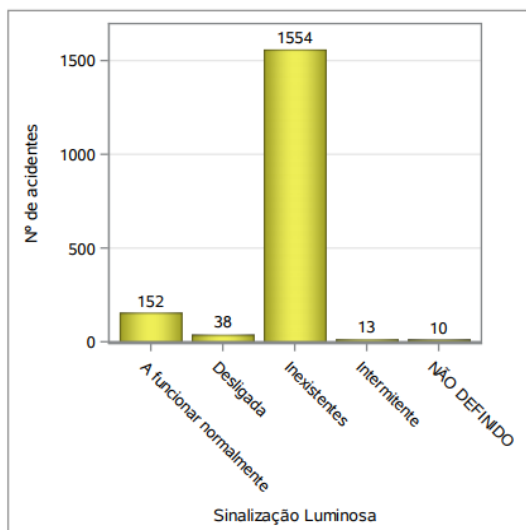


Gráfico 31 - Nº de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por Sinalização: Sinalização Luminosa (2013-2015)

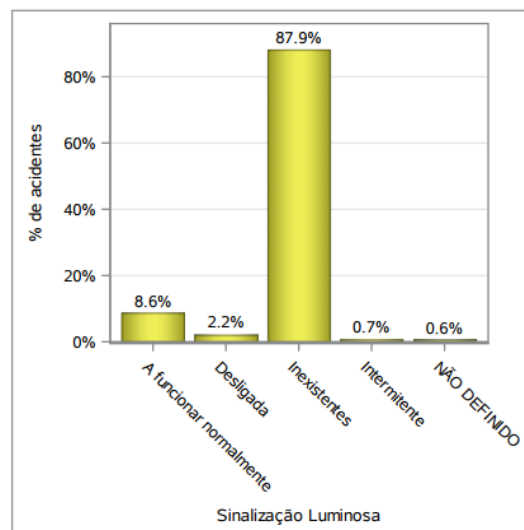


Gráfico 32 - Percentagem de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por Sinalização: Sinalização Luminosa (2013-2015)

A distribuição do número de acidentes segundo a sinalização horizontal é apresentada nos gráficos 29 e 30, onde é possível verificar que quase metade dos acidentes (47,5%) ocorreram em pavimentos sem marcas rodoviárias ou pouco visíveis. Estes números alertam para a necessidade de investimento na sinalização horizontal em conjunto com outros tipos de sinalização (vertical e luminosa) no sentido de orientar o tráfego de maneira a reduzir o número de acidentes nestes troços.

Quanto à sinalização luminosa, verificou-se a sua inexistência na grande maioria dos acidentes ocorridos (87,9%).

Análise de Dados de Sinistralidade Rodoviária nas Zonas em Obras

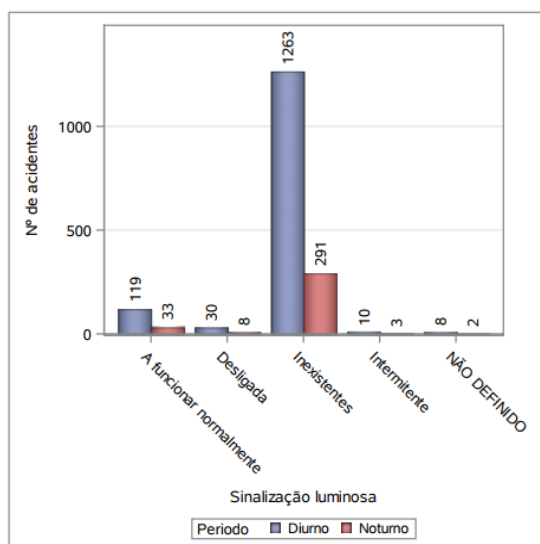


Gráfico 33 - Nº de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por Sinalização luminosa para os períodos noturno e diurno (2013-2015)

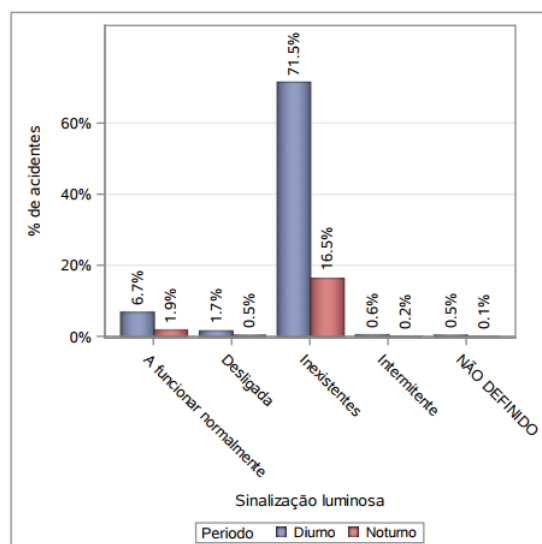


Gráfico 34 - Percentagem de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por Sinalização luminosa para os períodos noturno e diurno (2013-2015)

De salientar que em 291 casos (16,5%) verificou-se a não existência de sinalização luminosa em zonas de obstáculos ou obras durante o período noturno, o que é preocupante, pois trata-se de uma situação de elevado perigo e a instalação de dispositivos de sinalização luminosa nestes locais durante o dia ou noite, sempre que as condições de visibilidade sejam reduzidas é obrigatória (República Portuguesa 1998).

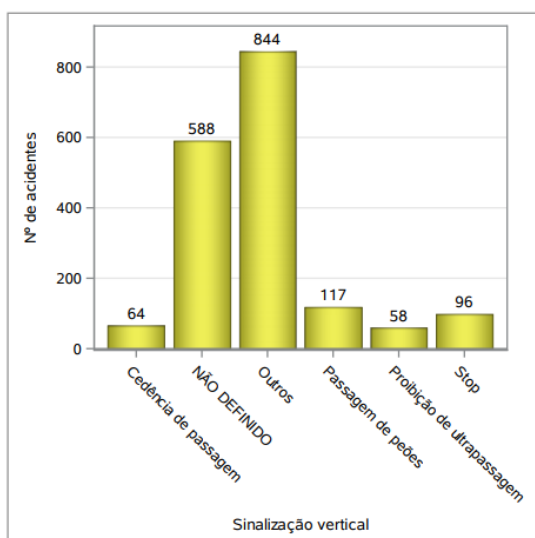


Gráfico 35 - Nº de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por Sinais existentes no local (2013-2015)

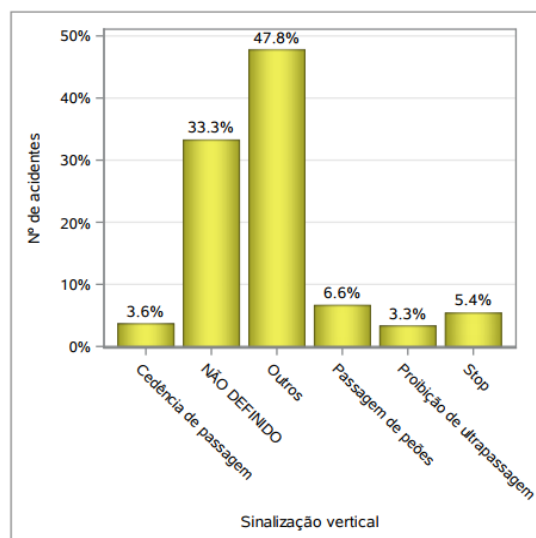


Gráfico 36 - Percentagem de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por Sinais existentes no local (2013-2015)

Na análise dos dados relativos aos sinais, verificou-se que em um terço das ocorrências este campo foi mal preenchido, sendo esta situação codificada na base de dados da ANSR como “Não Definido” (ver gráficos 35 e 36). Uma vez que a opção “Outros” foi a mais verificada, não é

possível saber o tipo de sinais existentes no local do acidente ou se apenas não existem sinais no local, o que aponta para a necessidade de rever as opções disponíveis neste campo do BEAV. Uma vez que se trata de acidentes ocorridos em zonas com obstáculos ou em obras, é provável que a sinalização temporária seja predominante, sendo desejável, pela importância que representa na segurança destes locais, a inclusão desta opção no campo B5.3.

Os gráficos 37 a 40 apresentam a repartição de acidentes ocorridos nas zonas com obstáculos ou em obras considerando as condições de luminosidade e os fatores atmosféricos.

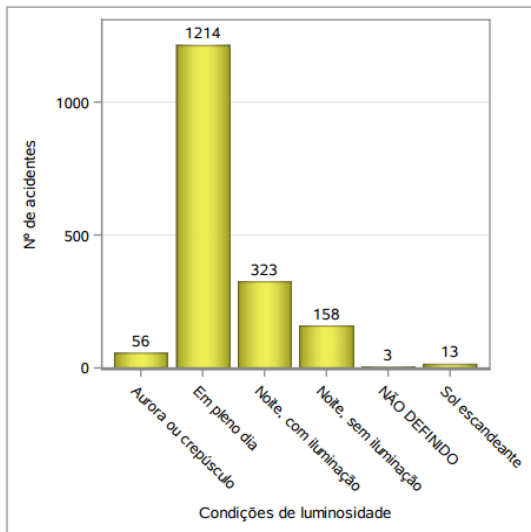


Gráfico 37 - Nº de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por Luminosidade entre (2013-2015)

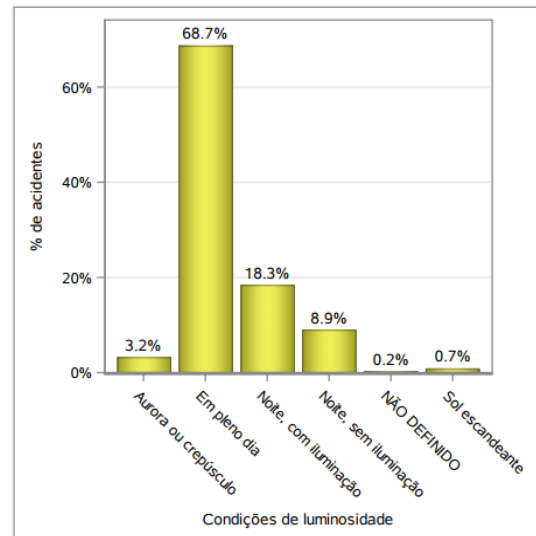


Gráfico 38 - Percentagem de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por Luminosidade entre (2013-2015)

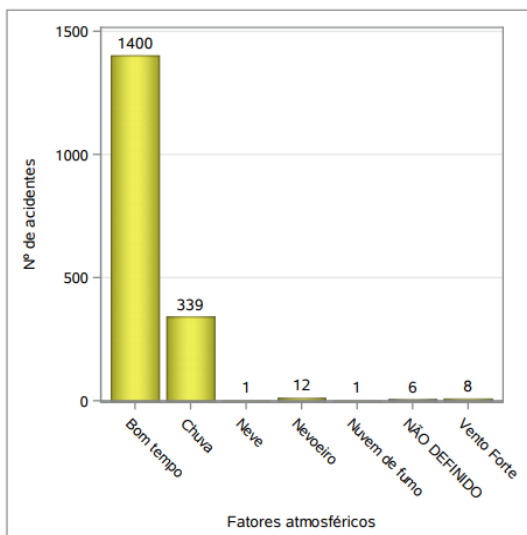


Gráfico 39 - Nº de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por Fatores atmosféricos entre (2013-2015)

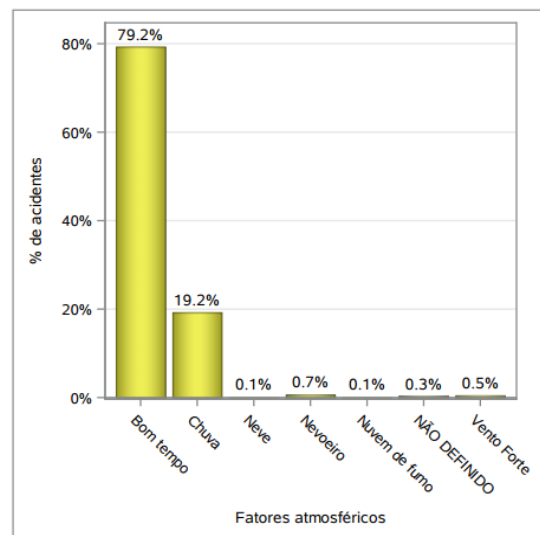


Gráfico 40 - Percentagem de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por Fatores atmosféricos entre (2013-2015)

Segundo condições de luminosidade, verifica-se que cerca de dois terços dos acidentes (68.7%) ocorreram com boas condições de luminosidade. Estas condições favorecem a prática de

velocidades elevadas e a realização de manobras mais arriscadas. Os acidentes ocorridos num ambiente de luminosidade reduzida (com sol encandeante, noite com e sem iluminação e aurora ou crepúsculo) também influenciam significativamente a ocorrência de acidentes deste tipo, correspondendo a 31,3% das ocorrências sob estas condições. Analisando o impacto dos fatores atmosféricos, verifica-se que este tipo de acidente tende a ocorrer com bom tempo, uma vez que a maioria das obras de manutenção e reabilitação do pavimento se realiza sob boas condições atmosféricas, normalmente durante o final da Primavera, Verão e início do Outono.

A Tabela 6 apresenta um resumo dos fatores predominantes identificados nas variáveis analisadas correspondentes à secção B do BEAV - “Circunstâncias externas”.

Tabela 6 - Secção B - Circunstâncias externas: resumo dos fatores predominantes

BEAV - Secção B - Circunstâncias externas		
Variável	Fator predominante	Percentagem de acidentes
Características Técnicas	Estrada sem separador	79,1%
Traçado em Planta	Reto	73,8%
Traçado em Perfil	Em patamar	64,2%
Interseção de vias	Fora da interseção	71,6%
	Em interseção	25,8%
Estado de conservação	Em estado regular	41,9%
	Em bom estado	40,5%
Condições de aderência	Seco e limpo	66,7%
	Molhado	17,4%
	Com areia e gravilha	7,1%
Obstáculos ou obras	Corretamente sinalizados	60%
	Não sinalizados	25,2%
	Insuficientemente sinalizados	14,8%
Marcas no pavimento	Sem marcas ou pouco visíveis	47,5%
Sinalização luminosa	Inexistente	87,9%
	Outros	47,8%
Sinais	Passagem de peões	6,6%
	Stop	5,4%
Condições de luminosidade	Em pleno dia	68,7%
	Noite com iluminação	18,3%
Fatores atmosféricos	Bom tempo	79,2%
	Chuva	19,2%

Analisando a Tabela 6, é possível verificar que a maior parte dos acidentes rodoviários ocorridos nas zonas de obstáculos ou em obras, deram-se em estradas com traçado geométrico favorável (reto e em patamar), fora das interseções, em pavimentos com boas condições de aderência (seco e limpo) e perante condições de luminosidade e climatéricas favoráveis. Estes fatores favorecem a circulação em excesso de velocidade por parte dos condutores, o que pode aumentar a probabilidade de ocorrência de um acidente, visto que nas zonas em obras constituem zonas de descontinuidade das condições de circulação com velocidades de circulação mais baixas.

Verificou-se ainda que em 40% dos acidentes, as zonas em obras ou os obstáculos presentes na via estavam insuficientemente ou não sinalizados, o que aumenta ainda mais a probabilidade de ocorrência de um acidente, uma vez que, uma inadequada sinalização destes locais não permite que os condutores se adaptem atempadamente às novas condições de circulação.

4.2.4 - Natureza do acidente

Neste ponto é apresentada a repartição dos acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras tendo em conta a sua natureza (ver gráfico 41 e 42). A informação tratada é recolhida na secção C - “Natureza do acidente” do BEAV.

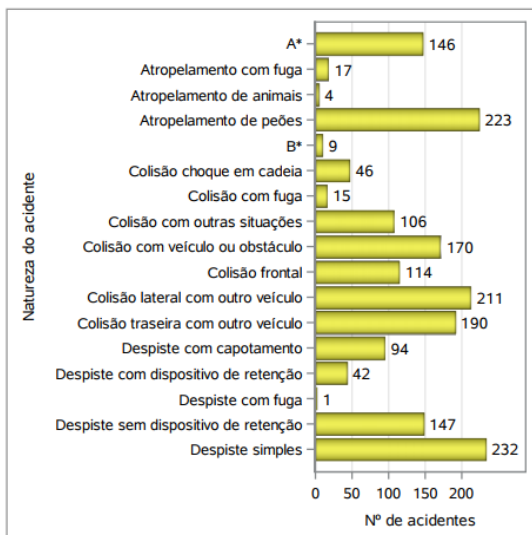


Gráfico 41 - Nº de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por Natureza do acidente (2013-2015)

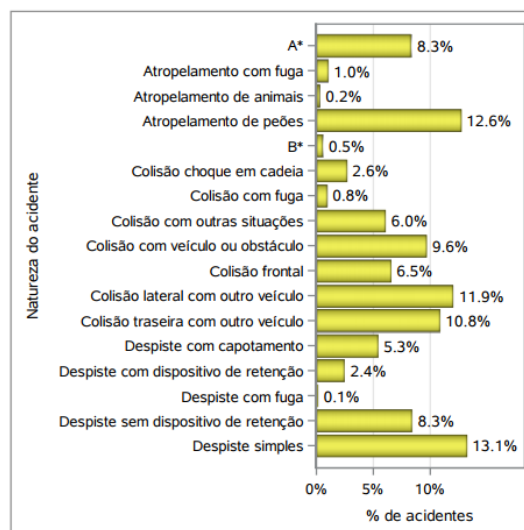


Gráfico 42 - Percentagem de acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por Natureza do acidente (2013-2015)

Nota: A* - Despiste com colisão com veículo imobilizado ou obstáculo; B* - Despiste com transposição do dispositivo de retenção lateral;

Os gráficos 41 e 42 mostram que o maior número de acidentes rodoviários nas zonas com obstáculos ou em obras deu-se por: atropelamento de peões, despiste simples, colisão traseira e colisão lateral.

4.2.5 - Veículos intervenientes

Neste ponto é apresentada a análise da informação recolhida relativa aos veículos intervenientes no acidente (ver gráficos 43 e 44). A informação tratada é recolhida na secção D - “Veículos Intervenientes” do BEAV.

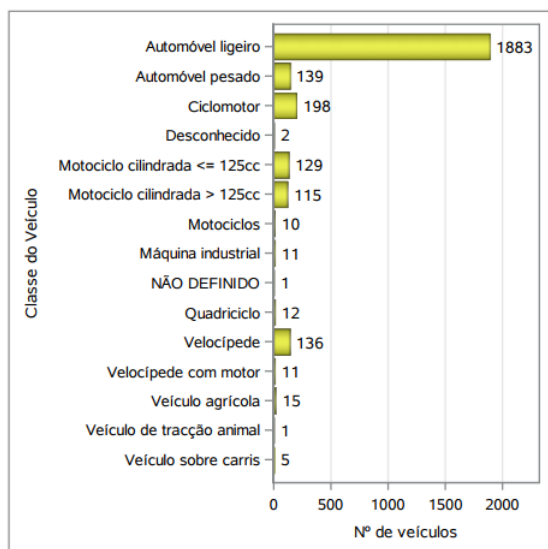


Gráfico 43 - Nº de veículos envolvidos em acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por classe (2013-2015)

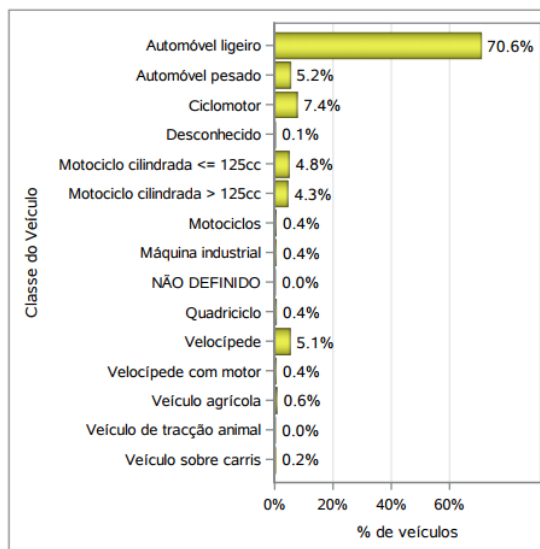


Gráfico 44 - Percentagem de veículos envolvidos em acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por classe (2013-2015)

Os gráficos 43 e 44 apresentam a distribuição das diferentes classes de veículos envolvidos. Analisando os gráficos verifica-se que a maioria dos veículos envolvidos em acidentes ocorridos nos troços em obras são automóveis ligeiros (70,6%). Tal facto pode ser explicado por representarem a maior proporção de veículos existente na corrente de tráfego. Analisando as restantes tipologias, destaca-se o envolvimento de veículos com duas rodas (ciclomotor, motociclo e velocípedes) e de veículos pesados. O resto das tipologias não teve impacto relevante neste tipo de acidentes.

4.2.6 - Condutores intervenientes

Neste ponto é apresentada a análise da informação recolhida relativa aos condutores intervenientes bem como a repartição por ações e manobras e informações complementares. A informação tratada é recolhida na secção E - “Condutores Intervenientes” do BEAV.

Os gráficos 45 e 46 apresentam o envolvimento de condutores em acidentes ocorridos nas zonas com obstáculos ou em obras mediante o grupo etário a que pertencem.

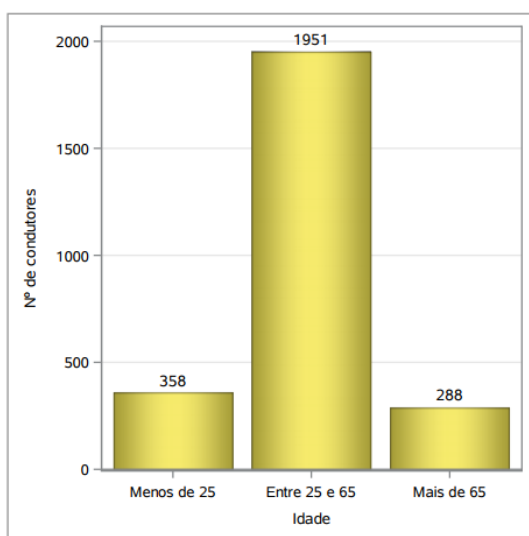


Gráfico 45 - Nº de condutores envolvidos em acidentes nas zonas de obstáculos ou em obras por grupo etário (2013-2015)

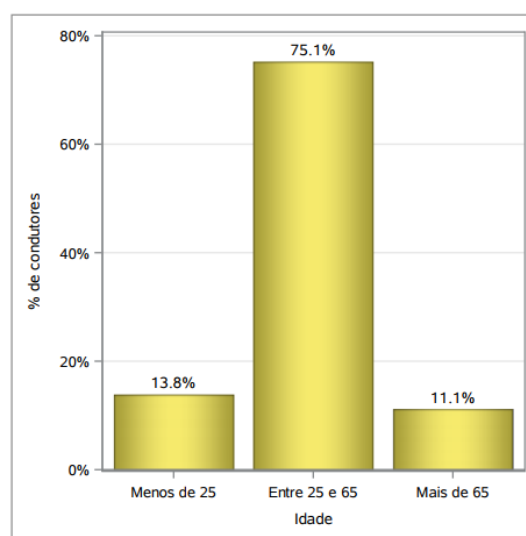


Gráfico 46 - Percentagem de condutores envolvidos em acidentes nas zonas de obstáculos ou em obras por grupo etário (2013-2015)

Quanto aos condutores envolvidos, estes foram divididos em três grupos etários tendo em conta a sua idade: jovem (menos de 25 anos), adulto (entre 25 e 64 anos) e sénior (mais de 65 anos). Os condutores jovens e seniores representam um fator de risco no que toca à ocorrência de acidentes rodoviários. Os resultados mostram que a maior parte dos condutores envolvidos são adultos (75,1%). Os condutores jovens e idosos apresentam contribuições semelhantes, com 13,8% e 11,1% dos condutores envolvidos respetivamente.

O conjunto de gráficos 47 a 50 apresenta a repartição das ações e manobras praticadas pelos condutores envolvidos nos acidentes e as informações complementares a ações e manobras antes do acidente.

Análise de Dados de Sinistralidade Rodoviária nas Zonas em Obras

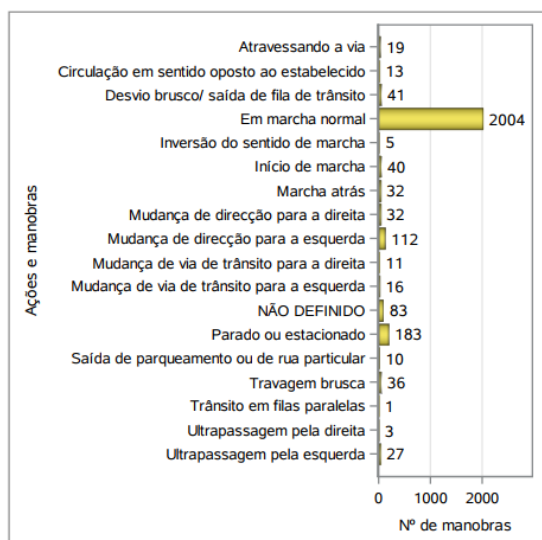


Gráfico 47 - Ações e manobras praticadas nos acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por Ações e manobras antes do acidente (2013-2015)

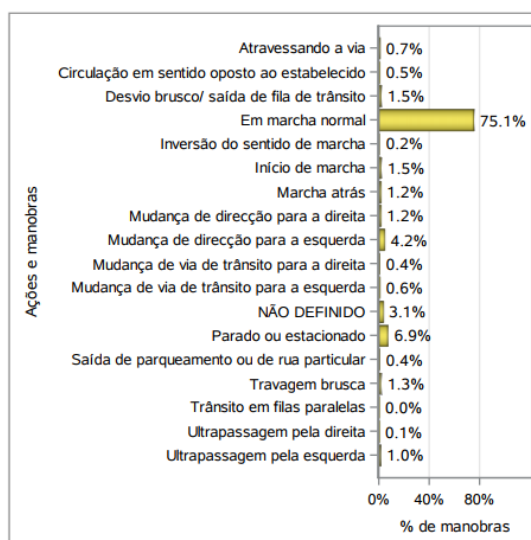


Gráfico 48 - Ações e manobras praticadas nos acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras por Ações e manobras antes do acidente (2013-2015)

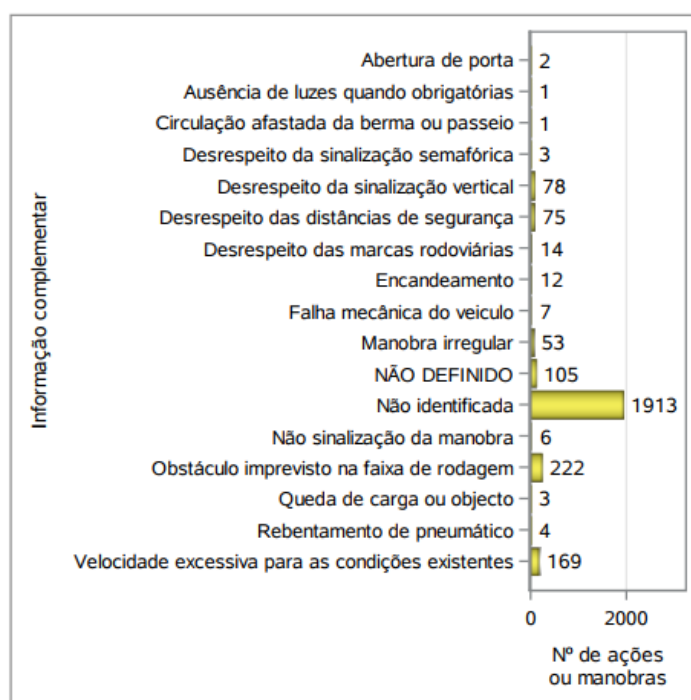


Gráfico 49 - Informações complementares a Ações e manobras praticadas pelos condutores antes do acidente (2013-2015)

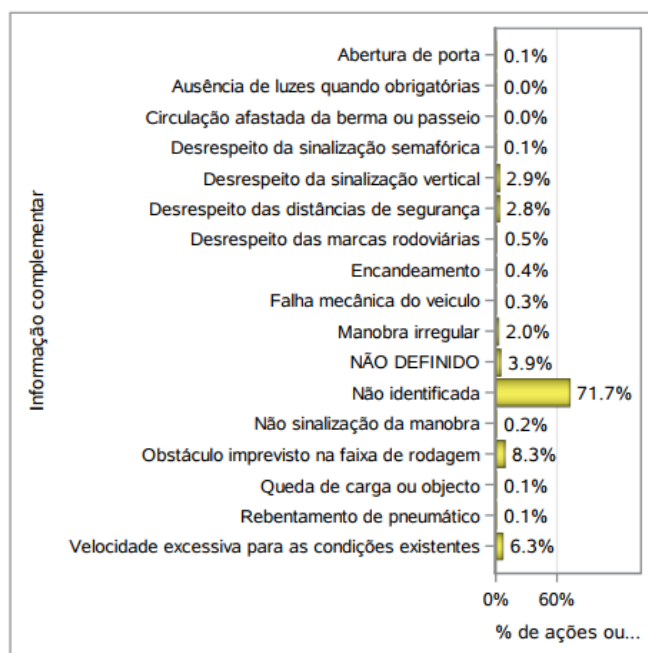


Gráfico 50 - Informações complementares a Ações e manobras praticadas pelos condutores antes do acidente (2013-2015)

Os dois primeiros gráficos mostram que a grande maioria dos condutores envolvidos circulava em marcha normal antes do acidente (75,1%). No que diz respeito às ações e manobras verificadas antes do acidente, as mais verificadas foram: a velocidade excessiva para as condições existentes (6,3%), obstáculo imprevisto na faixa de rodagem (8,3%), o desrespeito das distâncias de segurança (2,8%) e da sinalização vertical (2,9%). Através do Gráfico 50 é possível verificar que, em 71,7% dos condutores intervenientes, não foram identificadas as respectivas ações e manobras praticadas antes do acidente, o que representa uma limitação no estudo deste tipo de acidentes.

A Tabela 7 apresenta um resumo dos fatores predominantes identificados nas variáveis analisadas correspondentes à secção E do BEAV - “Condutores intervenientes”.

Tabela 7 - Secção E - Condutores intervenientes: resumo dos fatores predominantes

BEAV - Secção E - Condutores Intervenientes		
Variável	Fator predominante	% de condutores
Idade	Entre 25 e 64	75,1%
	Menos de 25	13,8%
	Mais de 65	11,1%
Informação complementar a ações e manobras	Obstáculo imprevisto na faixa de rodagem	8,3%
	Velocidade excessiva para as condições existentes	6,3%
	Desrespeito da sinalização vertical	2,9%
	Desrespeito da distância de segurança	2,8%
Ações e manobras	Em marcha normal	75,1%

Ao analisar os fatores predominantes das variáveis analisadas da secção E do BEAV - Condutores intervenientes (Tabela 7), é possível verificar que a presença de obstáculos, o excesso de velocidade, o desrespeito da sinalização vertical e da distância de segurança, são as manobras mais frequentes nos acidentes ocorridos nas zonas de obstáculos ou em obras. No que toca ao grupo etário dos condutores envolvidos neste tipo de acidentes, a maior parte das ocorrências deu-se com condutores do grupo etário adulto (idade entre os 25 e os 64 anos).

4.2.7 - Consequências do acidente

Neste ponto é apresentada informação segundo as consequências do acidente. A informação tratada é recolhida na secção F - “Consequências do acidente” do BEAV.

O conjunto de gráficos 51 a 56 mostra as consequências dos acidentes ocorridos nas zonas com obstáculos ou em obras (vítimas), as ações dos peões vítimas no momento do acidente e a utilização de material refletor pelos trabalhadores (peões) vítimas.

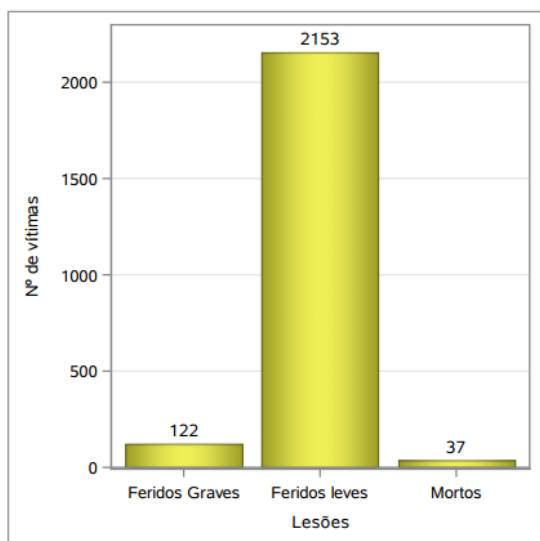


Gráfico 51 - Nº de vítimas registadas nos acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras (2013-2015)

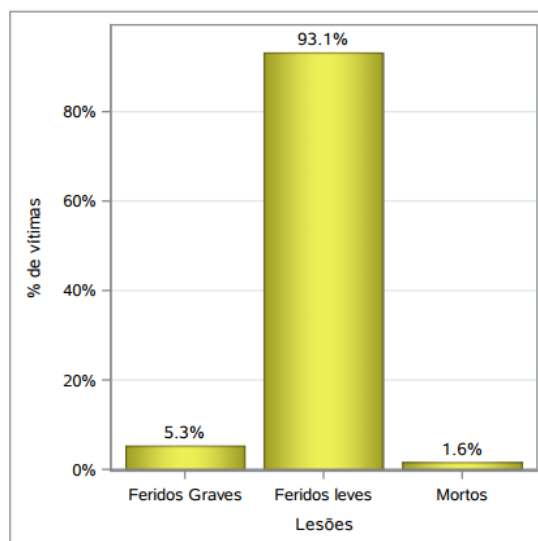


Gráfico 52 - Percentagem de vítimas registadas nos acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras (2013-2015)

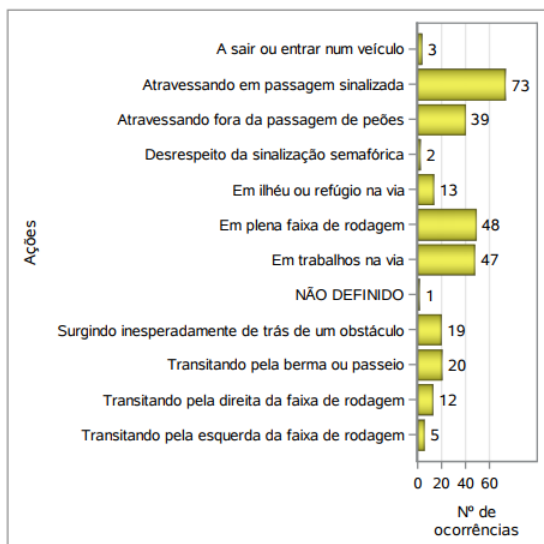


Gráfico 53 - Ações dos peões nos acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras entre (2013-2015)

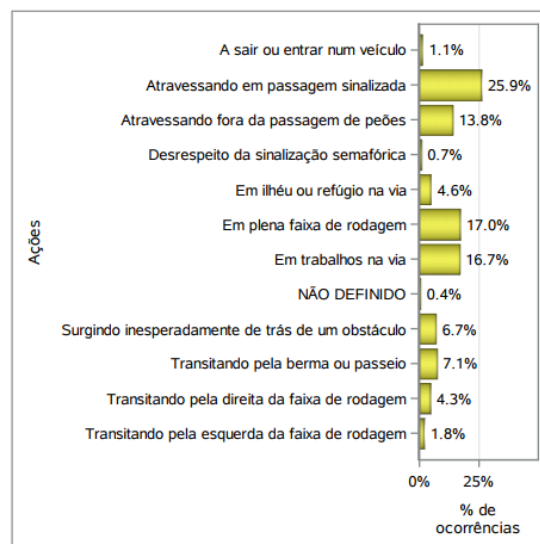


Gráfico 54 - Ações dos peões nos acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras entre (2013-2015) (em percentagem)

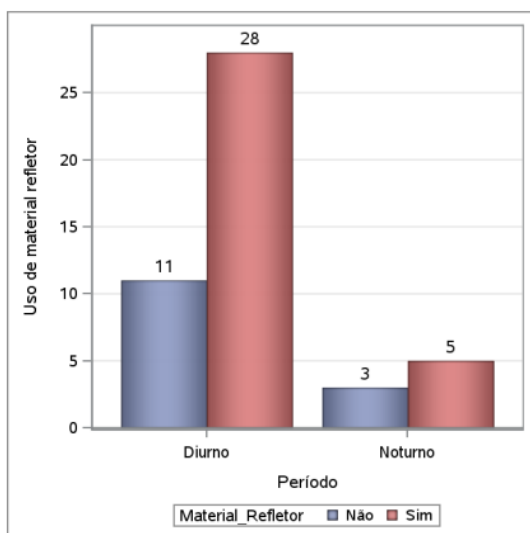


Gráfico 55 - Utilização de material refletor por parte dos peões vítimas nos acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras para os períodos diurno e noturno (2013-2015) (percentagem)

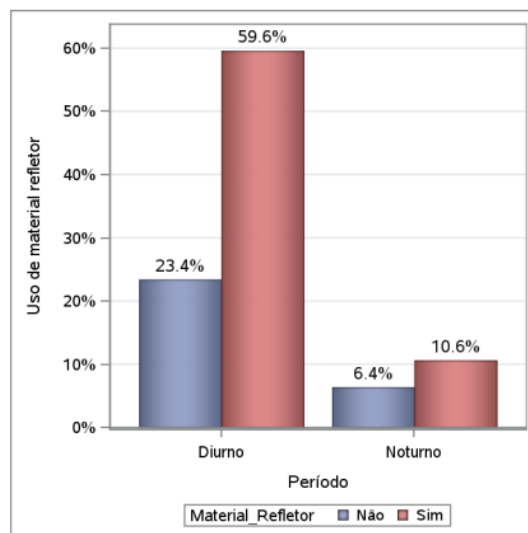


Gráfico 56 - Utilização de material refletor por parte dos peões vítimas nos acidentes ocorridos em zonas de obstáculos ou em obras para os períodos diurno e noturno (2013-2015) (percentagem)

Durante o período de análise foi registado um total de 2312 vítimas em acidentes rodoviários ocorridos nestas zonas (37 mortos, 122 feridos graves e 2153 feridos leves). As vítimas são essencialmente do tipo feridos leves, com uma menor representatividade de feridos graves e vítimas mortais.

As ações dos peões vítimas, incluindo os peões que transitam na via e os trabalhadores peões afetos às intervenções que decorrem na estrada, foram também analisadas. As ações que mais se verificaram antes do acidente foram: atravessamento da via dentro e fora de uma passagem sinalizada (25,9% e 13,8% respetivamente), em plena faixa rodagem (17%) e em trabalhos na via (16,7%), o que corresponde a 47 trabalhadores vítimas e a 235 peões vítimas que transitavam

na via. Dos trabalhadores vítimas, quase 30% não utilizavam material refletor no momento do acidente, o que aponta para a necessidade de sensibilizar trabalhadores e chefes de equipa para o uso de material refletor, nomeadamente o colete, e outras medidas de segurança.

A Tabela 8 apresenta um resumo dos fatores predominantes identificados nas variáveis analisadas correspondentes à secção F do BEAV - “Consequências do acidente”.

Tabela 8 - Secção F - Consequências do acidente: resumo dos fatores predominantes

BEAV - Secção F - Consequências do acidente		
Variável	Fator predominante	Porcentagem
Vítimas	Feridos leves	93,1%
	Feridos graves	5,3%
	Mortos	1,6%
Ações	Atravessando em passagem sinalizada	25,9%
	Em plena faixa de rodagem	17,0%
	Em trabalhos na via	16,7%
	Atravessando fora da passagem sinalizada	13,8%
Material refletor	Sim (Diurno)	59,6%
	Não (Diurno)	23,4%
	Sim (Noturno)	10,6%
	Não (Noturno)	6,4%

4.3 - Modelos de Regressão Logística Binária

4.3.1 - Variáveis consideradas na modelação

Com base na bibliografia consultada e nos resultados da análise estatística exploratória foi possível definir um conjunto de variáveis dependentes e independentes (explicativas), assim como os fatores predominantes associados a cada uma delas. A identificação dos fatores predominantes permitiu transformar as variáveis independentes qualitativas nominais em variáveis dicotómicas e preparar a base de dados para a realização de análises de regressão logística binária com o programa SAS® *Studio University Edition*.

A Tabela 9 apresenta as variáveis dependentes (modelos desenvolvidos) e as variáveis explicativas consideradas na modelação da probabilidade de ocorrência dos acidentes nas zonas com obstáculos ou em obras. Para a modelação do tipo de acidente (4 modelos), dos fatores contribuintes (4 modelos) e o grupo etário dos condutores (3 modelos), cada variável dependente foi codificada com o valor 1, o que corresponde ao evento de interesse a modelar na análise (ocorrência de determinado tipo de acidente, presença de determinado fator contribuinte e envolvimento de determinado grupo etário dos condutores). Cada variável dependente foi modelada isoladamente tendo-se considerado na análise as variáveis explicativas codificadas com 1 para o fator predominante e com 0 para as restantes opções de resposta do campo (no BEAV).

Tabela 9 - Variáveis dependentes e explicativas usadas na modelação dos acidentes

		Variável	Descrição	Valor
Variáveis dependentes (modelos desenvolvidos)	Tipo de acidente	Atropelamento de peões	O acidente ocorreu por atropelamento	1 (ocorrência) 0 (não ocorrência)
		Despiste simples	O acidente ocorreu por despiste simples	1 (ocorrência) 0 (não ocorrência)
		Colisão lateral	O acidente ocorreu por colisão lateral	1 (ocorrência) 0 (não ocorrência)
		Colisão traseira	O acidente ocorreu por colisão traseira	1 (ocorrência) 0 (não ocorrência)
	Fatores contribuintes	Velocidade excessiva	Pelo menos um condutor circulava em excesso de velocidade para as condições existentes	1 (ocorrência) 0 (não ocorrência)
		Obstáculo imprevisto	Obstáculo imprevisto na via	1 (ocorrência) 0 (não ocorrência)
		Distância de segurança	Pelo menos um condutor desrespeitou a distância de segurança em relação ao veículo da frente	1 (ocorrência) 0 (não ocorrência)
		Sinalização vertical	Pelo menos um condutor desrespeitou a sinalização vertical	1 (ocorrência) 0 (não ocorrência)
	Grupo etário dos condutores	Jovem	Condutores com menos de 25 anos de idade	1 (ocorrência) 0 (não ocorrência)
		Adulto	Condutores com idade entre os 25 e os 64 anos	1 (ocorrência) 0 (não ocorrência)
		Sénior	Condutores com idade superior a 64 anos	1 (ocorrência) 0 (não ocorrência)
	Variáveis explicativas	Localização	O acidente ocorreu em meio urbano	1 (Sim) / 0 (Não)
		Veículo pesado	Pelo menos um veículo pesado envolvido	1 (Sim) / 0 (Não)
		Motociclo	Pelo menos um motociclo envolvido	1 (Sim) / 0 (Não)
		Ação condutor	Pelo menos um condutor circulava em marcha normal	1 (Sim) / 0 (Não)
Velocidade		Pelo menos um condutor circulava em excesso de velocidade para as condições existentes	1 (Sim) / 0 (Não)	
Obstáculo		Obstáculo imprevisto na via	1 (Sim) / 0 (Não)	
Sinalização vertical		Pelo menos um condutor desrespeitou a sinalização vertical	1 (Sim) / 0 (Não)	
Distância de segurança		Pelo menos um condutor desrespeitou a distância de segurança em relação ao veículo da frente	1 (Sim) / 0 (Não)	
Limite de velocidade		O acidente ocorreu numa via rápida (limite de velocidade ≥ 90 km/h)	1 (Sim) / 0 (Não)	
Interseção		O acidente ocorreu numa interseção de vias	1 (Sim) / 0 (Não)	
Traçado em planta		O acidente ocorreu num traçado em planta reto	1 (Sim) / 0 (Não)	
Traçado em perfil		O acidente ocorreu num traçado em perfil em patamar	1 (Sim) / 0 (Não)	
Aderência		O acidente ocorreu num pavimento seco e limpo	1 (Sim) / 0 (Não)	
Luminosidade		Boas condições de luminosidade	1 (Sim) / 0 (Não)	
Fatores atmosféricos		Condições atmosféricas favoráveis	1 (Sim) / 0 (Não)	
Taxa de alcoolémia	Pelo menos um condutor circulava com excesso de álcool no sangue ($tx \geq 0,5$ g/l)	1 (Sim) / 0 (Não)		

4.3.2 - Modelos por tipo de acidente

4.3.2.1 - Modelos

As tabelas 10 a 13 apresentam os principais resultados obtidos na modelação por regressão logística para a natureza do acidente. No processo de modelação, foram consideradas as variáveis explicativas apresentadas na Tabela 9 com exceção da taxa de alcoolemia que é apenas considerada nos modelos do grupo etário dos condutores envolvidos.

Tabela 10 - Parâmetros estimados para o modelo dos acidentes do tipo atropelamento de peões

Resumo do modelo					
Número de observações		1767			
Evento de interesse		0	1544		
		1	223		
Estimativa dos coeficientes de regressão - Método da Máxima Verosimilhança					
Variável	GL	Coefficientes Estimados	Erro Padrão	Teste Wald Qui-Quadrado	Pr > ChiSq
Intercept	1	-3,3739	0,4196	64,6438	<,0001
Localização	1	2,0601	0,2979	47,8251	<,0001
Ação condutor	1	-1,1523	0,1962	34,4995	<,0001
Velocidade	1	-0,8677	0,3543	5,9975	0,0143
Obstáculo	1	-1,1363	0,3862	8,6577	0,0033
Distância de segurança	1	-1,5165	0,5380	7,9455	0,0048
Motociclo	1	-2,6430	0,3926	45,3214	<,0001
Interseção	1	-0,3836	0,1844	4,3278	0,0375
Traçado em planta	1	0,6623	0,2096	9,9852	0,0016
Aderência	1	0,4702	0,1885	6,2245	0,0126
Luminosidade	1	0,5617	0,1879	8,9353	0,0028
Estimativa da Razão de Chances (Odds)					
Variável	Valor estimado	Intervalo de Confiança de Wald 95%			
Localização	7,847	4,376 14,068			
Ação condutor	0,316	0,215 0,464			
Velocidade	0,420	0,210 0,841			
Obstáculo	0,321	0,151 0,684			
Distância de segurança	0,219	0,076 0,630			
Motociclo	0,071	0,033 0,154			
Interseção	0,681	0,475 0,978			
Traçado em planta	1,939	1,286 2,924			
Aderência	1,600	1,106 2,316			
Luminosidade	1,754	1,213 2,534			
Teste de Qualidade de Ajuste					
Teste de Hosmer e Lemeshow	Qui-quadrado	GL	Pr > ChiSq		
	8,3947	9	0,4949		

Tabela 11 - Parâmetros estimados para o modelo dos acidentes do tipo despiste simples

Resumo do Modelo					
Número de Observações		1767			
Evento de Interesse		0	1535		
		1	232		
Estimativa dos coeficientes de regressão - Método da Máxima Verosimilhança					
Variável	DF	Coefficientes Estimados	Erro Padrão	Teste Wald Qui-Quadrado	Pr > ChiSq
Intercept	1	-1,5643	0,1300	144,7518	<,0001
Localização	1	-0,9699	0,1574	37,9876	<,0001
Veículo pesado	1	-2,3032	0,7198	10,2385	0,0014
Motociclo	1	1,2318	0,1522	65,4932	<,0001
Estimativa da Razão de Chances (Odds)					
Variável	Valor Estimado		Intervalo de Confiança de Wald 95%		
Localização	0,379		0,278		0,516
Veículo pesado	0,100		0,024		0,410
Motociclo	3,428		2,543		4,619
Teste de Qualidade de Ajuste					
Teste de Hosmer e Lemeshow	Qui-quadrado		GL	Pr > ChiSq	
	0,2388		2	0,8874	

Tabela 12 - Parâmetros estimados para o modelo dos acidentes do tipo colisão lateral

Resumo do Modelo					
Número de Observações		1767			
Evento de Interesse		0	1556		
		1	211		
Estimativa dos coeficientes de regressão - Método da Máxima Verossimilhança					
Variável	GL	Coefficientes Estimados	Erro Padrão	Teste Wald Qui-quadrado	Pr > ChiSq
Intercept	1	-4,2082	0,3752	125,8121	<,0001
Localização	1	0,4940	0,2077	5,6587	0,0174
Ação condutor	1	0,8390	0,2876	8,5105	0,0035
Obstáculo	1	-1,2166	0,4026	9,1321	0,0025
Sinalização vertical	1	1,3667	0,2718	25,2754	<,0001
Veículo pesado	1	0,8267	0,2689	9,4521	0,0021
Interseção	1	1,5744	0,1634	92,8733	<,0001
Aderência	1	0,5000	0,1900	6,9250	0,0085
Estimativa da Razão de Chances (Odds)					
Variável	Valor Estimado	Intervalo de Confiança de Wald 95%			
Localização	1,639	1,091	2,462		
Ação condutor	2,314	1,317	4,066		
Obstáculo	0,296	0,135	0,652		
Sinalização vertical	3,922	2,302	6,682		
Veículo pesado	2,286	1,349	3,872		
Interseção	4,828	3,505	6,650		
Aderência	1,649	1,136	2,393		
Teste de Qualidade de Ajuste					
Teste de Hosmer e Lemeshow	Qui-quadrado	GL	Pr > ChiSq		
	6,2882	7	0,5065		

Tabela 13 - Parâmetros estimados para o modelo dos acidentes do tipo colisão traseira

Resumo do Modelo					
Número de Observações		1767			
Evento de Interesse		0	1577		
		1	190		
Estimativa dos coeficientes de regressão - Método da Máxima Verosimilhança					
Variável	GL	Coeficientes Estimados	Erro Padrão	Teste Wald Qui-quadrado	Pr > ChiSq
Intercept	1	-3,4221	0,4331	62,4389	<,0001
Localização	1	-1,1380	0,1707	44,4271	<,0001
Ação condutor	1	0,9091	0,3372	7,2668	0,0070
Velocidade	1	0,9910	0,2351	17,7744	<,0001
Obstáculo	1	-1,2455	0,4691	7,0481	0,0079
Distância de segurança	1	2,2121	0,2845	60,4441	<,0001
Motociclo	1	-1,0364	0,2693	14,8141	0,0001
Traçado em planta	1	0,9015	0,2264	15,8474	<,0001
Luminosidade	1	0,6122	0,1965	9,7061	0,0018
Estimativa da Razão de Chances (Odds)					
Variável	Valor Estimado		Intervalo de Confiança de Wald 95%		
Localização	0,320		0,229 0,448		
Ação condutor	2,482		1,282 4,807		
Velocidade	2,694		1,699 4,271		
Obstáculo	0,288		0,115 0,722		
Distância de segurança	9,135		5,230 15,955		
Motociclo	0,355		0,209 0,601		
Traçado em planta	2,463		1,580 3,839		
Luminosidade	1,845		1,255 2,711		
Teste de Qualidade de Ajuste					
Teste de Hosmer e Lemeshow	Qui-quadrado		GL	Pr > ChiSq	
	6,4385		8	0,5982	

4.3.2.2 - Análise e discussão de resultados - Natureza do acidente

A Tabela 10 mostra as variáveis que influenciaram a ocorrência de atropelamentos em zonas com obstáculos ou em obras. Num total de 1767 acidentes rodoviários verificados nestas zonas, 223 ocorreram por atropelamento de pões. Através da interpretação dos resultados obtidos verifica-se que a probabilidade de ocorrência deste tipo de acidente em meio urbano é quase 8 vezes (7,847) superior em relação à sua ocorrência em meio rural e que, um traçado em planta reto e boas condições de aderência e de luminosidade, aumentam a probabilidade de ocorrência de atropelamentos nas zonas em obras, pois apresentam um *odd* ratio estimado superior a 1. A probabilidade de ocorrência de atropelamentos nestas zonas diminui na área de influência das interseções, quando um condutor circula em marcha normal e em excesso de velocidade, quando surge um obstáculo imprevisto na via, quando a distância de segurança em relação ao veículo da frente é desrespeitada e quando está envolvido pelo menos um motociclo. As variáveis “fatores atmosféricos”, “traçado em perfil”, “limite de velocidade”, “sinalização vertical” e “veículo pesado”, não se mostraram significantes na modelação deste tipo de acidentes.

A Tabela 11 apresenta as variáveis explicativas que se mostraram significativas na modelação da ocorrência de acidentes rodoviários nas zonas com obstáculos ou em obras por despiste simples. Num total de 1767 acidentes rodoviários nestas zonas, 232 ocorreram por despiste simples. Das 15 variáveis explicativas consideradas no início da modelação, apenas 3 se mostraram significativas. Os resultados do modelo indicam que o envolvimento de pelo menos um motociclo tem impacto positivo na ocorrência de despistes, com uma probabilidade de ocorrência 3,428 vezes superior do que quando estes não estão envolvidos. A probabilidade de ocorrência de despistes em zonas em obras diminui em meios urbanos e com o envolvimento de pelo menos um veículo pesado (*odd* ratio < 1), ou seja, é mais provável um despiste ocorrer numa zona em obras localizada em meio rural e sem o envolvimento de veículos pesados.

Na Tabela 12 é possível observar que num total de 1767 acidentes rodoviários ocorridos nas zonas com obstáculos ou em obras, 211 ocorreram por colisão lateral (Colisão lateral=1). Os resultados indicam que as interseções de vias e o desrespeito da sinalização vertical são os fatores que mais influenciam a ocorrência deste tipo de colisão, com uma probabilidade de ocorrência aproximadamente 4 a 5 vezes superior em relação à não ocorrência, quando estes fatores estão presentes. O meio urbano, a circulação em marcha normal, o envolvimento de veículos pesados e um pavimento com boas condições de aderência, influenciam positivamente a ocorrência deste tipo de colisão. Com a presença inesperada de um obstáculo na faixa de rodagem, a probabilidade de ocorrer uma colisão lateral em relação aos outros tipos de acidente diminui.

Os resultados da modelação dos acidentes do tipo colisão traseira são apresentados na

Tabela 13. Nesta tabela observa-se que num total 1767 acidentes ocorridos em zonas com obstáculos ou em obras, 190 ocorreram por colisão traseira. Das 15 variáveis inicialmente consideradas, as que influenciam positivamente este tipo de colisão são: a circulação em marcha normal, o excesso de velocidade, condições de luminosidade diurna, o traçado em planta reto e o desrespeito pela distância de segurança. Este último revelou ser o fator mais influente, com uma probabilidade de ocorrência quase 10 vezes superior à probabilidade de não ocorrência, quando esta condição se verifica. A probabilidade de ocorrência de colisões traseiras diminui em centros urbanos, quando um obstáculo está presente na faixa de rodagem e com o envolvimento de pelo menos um veículo ciclomotor.

Analisando os resultados obtidos para os diferentes tipos dos acidentes, de um modo geral verificou-se que os fatores atmosféricos, a geometria do traçado em perfil e a circulação em vias rápidas (limite de velocidade > 90 km/h), não tiveram qualquer influência na ocorrência deste tipo de acidentes, pois as variáveis correspondentes não mostraram ser significativas no processo de modelação. A variável relativa à presença de um obstáculo na faixa de rodagem, apesar de entrar nos modelos, tem influência negativa, significando que a inexistência de obstáculos influencia mais a ocorrência dos acidentes. Por outro lado, os fatores que revelaram ser mais influentes na ocorrência dos acidentes ocorridos nas zonas com obstáculos ou em obras, com influência positiva em pelo menos dois tipos de acidentes analisados, foram: a localização em meio urbano, a circulação em marcha normal, o traçado em planta reto, boas condições de aderência (piso seco e limpo) e as condições de luminosidade diurna.

4.3.3 - Modelos por fator contribuinte

4.3.3.1 - Modelos

As tabelas 14 a 17 apresentam os principais resultados obtidos na modelação por regressão logística dos principais fatores que contribuem para a ocorrência de acidentes rodoviários nas zonas de obstáculos ou em obras. No processo de modelação, foram consideradas 11 das 16 variáveis explicativas apresentadas na Tabela 9. As variáveis “velocidade excessiva”, “obstáculo imprevisto”, “sinalização vertical” e “distância de segurança” são variáveis dependentes nesta análise pelo que não entram na modelação. A taxa de alcoolemia é apenas considerada nos modelos do grupo etário dos condutores envolvidos.

Tabela 14 - Parâmetros estimados para o modelo dos fatores contribuintes: Excesso de velocidade para as condições existentes

Resumo do Modelo					
Número de Observações		1767			
Evento de Interesse		0	1604		
		1	163		
Estimativa dos coeficientes de regressão - Método da Máxima Verosimilhança					
Variável	GL	Coefficiente Estimado	Erro Padrão	Qui-quadrado de Wald	Pr > ChiSq
Intercept	1	-1,0829	0,2592	17,4564	<,0001
Ação condutor	1	-0,7948	0,2181	13,2850	0,0003
Limite de velocidade	1	1,3057	0,2301	32,2117	<,0001
Traçado em planta	1	-0,6355	0,1743	13,2906	0,0003
Luminosidade	1	-0,3718	0,1738	4,5793	0,0324
Estimativa da Razão de Chances (Odds)					
Variável	Valor Estimado		Intervalo de Confiança de Wald 95%		
Ação condutor	0,452		0,295 0,693		
Limite de velocidade	3,690		2,351 5,793		
Traçado em planta	0,530		0,376 0,745		
Luminosidade	0,689		0,490 0,969		
Teste de Qualidade de Ajuste					
Teste de Hosmer e Lemeshow	Qui-quadrado		GL	Pr > ChiSq	
	3,8256		3	0,2809	

Tabela 15 - Parâmetros estimados para o modelo dos fatores contribuintes: Obstáculo imprevisto na faixa de rodagem

Resumo do Modelo					
Número de Observações		1767			
Evento de Interesse		0	1558		
		1	209		
Estimativa dos coeficientes de regressão - Método da Máxima Verosimilhança					
Variável	GL	Coefficiente Estimado	Erro Padrão	Qui-quadrado de Wald	Pr > ChiSq
Intercept	1	-1,6694	0,2242	55,4384	<,0001
Localização	1	0,4307	0,1930	4,9789	0,0257
Motociclo	1	0,9682	0,1571	37,9987	<,0001
Interseção	1	-0,5576	0,1939	8,2731	0,0040
Traçado em Perfil	1	-0,3290	0,1540	4,5609	0,0327
Aderência	1	-0,6483	0,1542	17,6729	<,0001
Luminosidade	1	-0,4288	0,1566	7,4956	0,0062
Estimativa da Razão de Chances (Odds)					
Variável	Valor Estimado		Intervalo de Confiança de Wald 95%		
Localização	1,538		1,054 2,246		
Motociclo	2,633		1,935 3,582		
Interseção	0,573		0,392 0,837		
Traçado em Perfil	0,720		0,532 0,973		
Aderência	0,523		0,387 0,707		
Luminosidade	0,651		0,479 0,885		
Teste de Qualidade de Ajuste					
Teste de Hosmer e Lemeshow	Qui-quadrado		GL	Pr > ChiSq	
	11,3654		8	0,1818	

Tabela 16 - Parâmetros estimados para o modelo dos fatores contribuintes: Desrespeito da distância de segurança

Resumo do Modelo					
Número de Observações		1767			
Evento de Interesse		0	1700		
		1	67		
Estimativa dos coeficientes de regressão - Método da Máxima Verosimilhança					
Variável	GL	Coefficiente Estimado	Erro Padrão	Qui-quadrado de Wald	Pr > ChiSq
Intercept	1	-4,5633	0,4727	93,2008	<,0001
Motociclo	1	-1,0824	0,4041	7,1737	0,0074
Traçado em planta	1	1,2372	0,4330	8,1653	0,0043
Aderência	1	0,6567	0,3151	4,3437	0,0371
Estimativa da Razão de Chances (Odds)					
Variável	Valor Estimado		Intervalo de Confiança de Wald 95%		
Motociclo	0,339		0,153		0,748
Traçado em planta	3,446		1,475		8,051
Aderência	1,928		1,040		3,576
Teste de Qualidade de Ajuste					
Teste de Hosmer e Lemeshow	Qui-quadrado		GL	Pr > ChiSq	
	4,4422		5	0,4877	

Tabela 17 - Parâmetros estimados para o modelo dos fatores contribuintes: Desrespeito da sinalização vertical

Resumo do Modelo					
Número de Observações		1767			
Evento de Interesse		0	1693		
		1	74		
Estimativa dos coeficientes de regressão - Método da Máxima Verosimilhança					
Variável	GL	Coefficiente Estimado	Erro Padrão	Qui-quadrado de Wald	Pr > ChiSq
Intercept	1	-5,5956	0,4941	128,2691	<,0001
Localização	1	1,1570	0,4142	7,8026	0,0052
Veículo pesado	1	1,1841	0,3694	10,2749	0,0013
Interseção	1	1,8595	0,2614	50,6035	<,0001
Aderência	1	0,7070	0,3166	4,9867	0,0255
Estimativa da Razão de Chances (Odds)					
Variável	Valor Estimado		Intervalo de Confiança de Wald 95%		
Localização	3,180		1,412 7,162		
Veículo pesado	3,268		1,584 6,740		
Interseção	6,420		3,846 10,716		
Aderência	2,028		1,090 3,771		
Teste de Qualidade de Ajuste					
Teste de Hosmer e Lemeshow	Qui-quadrado	GL	Pr > ChiSq		
	10,5786	5	0,0604		

4.3.3.2 - Análise e discussão de resultados - Fatores contribuintes

A partir da Tabela 14 é possível verificar que em 163 casos, pelo menos um dos condutores envolvidos no acidente circulava em excesso de velocidade (Excesso de velocidade=1). Das 15 variáveis consideradas no início da análise, 4 revelaram ser influentes nestes acidentes, nomeadamente a “ação condutor”, “limite de velocidade”, “traçado em planta” e “luminosidade”. Este fator contribuinte foi mais significativo nas situações de ocorrência do acidente em vias rápidas, o que pode estar relacionado com as características geométricas deste tipo de estradas, uma vez que favorecem a prática de velocidades elevadas. Nesta situação, a probabilidade de ocorrer um acidente aumenta 3,69 vezes (odd ratio). A probabilidade de ocorrer um acidente em que pelo menos um dos condutores circula em excesso de velocidade diminui quando o traçado em planta é reto, com boas condições de luminosidade (em pleno dia) e quando pelo menos um condutor circula em marcha normal (odd ratio<1).

A Tabela 15 indica os resultados do modelo para a presença inesperada de um obstáculo na via (Obstáculo imprevisto=1), situação que se verificou em 209 casos num total de 1767. Os resultados da modelação revelaram que das 15 variáveis consideradas, a “localização”, “motociclo”, “interseção”, “traçado em perfil”, “aderência” e “luminosidade” mostraram-se influentes na ocorrência destes acidentes. A probabilidade de ocorrência de acidentes com a presença inesperada de um obstáculo na via aumenta em meio urbano e com o envolvimento de motociclos, sendo a probabilidade ocorrência 1,538 e 2,633 vezes superior à probabilidade de não ocorrência, respetivamente, quando estes fatores se verificam. A probabilidade de ocorrência deste tipo de acidente diminui durante o dia, nas zonas de influência das interseções, nos traçados em perfil plano e com boas condições de aderência (odd ratio<1).

Na Tabela 16 observa-se que se verificou a ação de desrespeito da distância de segurança em relação ao veículo da frente por parte de pelo menos um dos condutores envolvidos no acidente em 67 dos 1767 acidentes ocorridos nas zonas com obstáculos ou em obras. A modelação mostrou que esta ação é influenciada por um traçado em planta reto e um pavimento seco e limpo (boas condições de aderência), com probabilidades de ocorrência de 3,446 e 1,928 vezes superior à probabilidade de não ocorrência, respetivamente, quando se verifica a presença destes fatores. A presença de motociclos tende a baixar a probabilidade de ocorrência deste tipo de acidentes. As restantes variáveis consideradas na análise não se mostraram significativas na modelação.

A Tabela 17 apresenta as variáveis que influenciam a ocorrência de acidentes rodoviários ocorridos nas zonas com obstáculos ou em obras por desrespeito da sinalização vertical por parte de pelo menos um dos condutores envolvidos no acidente. Esta ação foi registada em 74 ocorrências, num total de 1767 ocorrências analisadas. Os resultados obtidos mostram que esta ação tende a ocorrer num pavimento seco e limpo, em meio urbano, nas interseções de vias e com o envolvimento de pelo menos um veículo pesado. Todas as quatro variáveis mencionadas,

apresentam influência positiva na ocorrência de acidentes por desrespeito da sinalização vertical (odds ratio > 1), sendo a área de influência de uma interseção a variável com mais influência neste tipo de acidente com uma probabilidade de ocorrência 6,42 vezes superior à probabilidade de não ocorrência.

Analisando de um modo geral os resultados obtidos para os diferentes fatores contribuintes (excesso de velocidade para as condições existentes, obstáculo imprevisto na faixa de rodagem, desrespeito pela distância de segurança e desrespeito pela sinalização vertical) verificou-se que das 11 variáveis explicativas consideradas, a variável “fatores atmosféricos” foi a única que não teve qualquer influência na ocorrência deste tipo de acidentes, pois não mostrou ser significativa no processo de modelação. A variável relativa às condições de aderência do pavimento foi significativa num maior número de modelos. A localização em meio urbano revelou igualmente ser um fator influente na ocorrência destes acidentes. Por outro lado, as condições de luminosidade tiveram influência negativa nos modelos em que entraram, indicando que estes acidentes tendem a ocorrer sob condições de visibilidade reduzidas.

4.3.4 - Modelos por grupo etário dos condutores

4.3.4.1 - Modelos

As tabelas 18 a 20 apresentam os principais resultados obtidos na modelação por regressão logística dos grupos etários considerados para os condutores envolvidos nos acidentes rodoviários nas zonas de obstáculos ou em obras. No processo de modelação, foram consideradas as 16 variáveis explicativas apresentadas na Tabela 9.

Tabela 18 - Parâmetros estimados para o modelo dos grupos etários dos condutores envolvidos: Jovem

Resumo do Modelo					
Número de Observações		2668			
Evento de Interesse		0			2310
		1			358
Estimativa dos coeficientes de regressão - Método da Máxima Verosimilhança					
Variável	GL	Coefficiente estimado	Erro Padrão	Qui-quadrado de Wald	Pr > ChiSq
Intercept	1	-1,3269	0,1171	128,3062	<,0001
Veículo pesado	1	-3,2199	1,0053	10,2596	0,0014
Excesso de velocidade	1	0,7454	0,1913	15,1867	<,0001
Aderência	1	-0,2625	0,1207	4,7302	0,0296
Luminosidade	1	-0,5403	0,1196	20,4156	<,0001
Estimativa da Razão de Chances (Odds)					
Variável	Valor Estimado		Intervalo de Confiança de Wald 95%		
Veículo pesado	0,040		0,006		0,287
Excesso de velocidade	2,107		1,448		3,066
Aderência	0,769		0,607		0,974
Luminosidade	0,583		0,461		0,736
Teste de Qualidade de Ajuste					
Teste Hosmer e Lemeshow	Qui-quadrado		GL	Pr > ChiSq	
	1,1345		3	0,7688	

Tabela 19 - Parâmetros estimados para o modelo dos grupos etários dos condutores envolvidos: Adulto

Resumo do Modelo					
Número de Observações	2668				
Evento de Interesse	0	717			
	1	1951			
Estimativa dos coeficientes de regressão - Método da Máxima Verosimilhança					
Variáveis	GL	Coefficiente Estimado	Erro Padrão	Qui-quadrado de Wald	Pr > ChiSq
Intercept	1	0,4068	0,1164	12,2040	0,0005
Veículo pesado	1	1,9432	0,3468	31,3948	<,0001
Ação condutor	1	0,3617	0,1002	13,0235	0,0003
Obstáculo	1	0,3750	0,1726	4,7183	0,0298
Interseção	1	0,2187	0,0985	4,9299	0,0264
Luminosidade	1	0,2336	0,0960	5,9198	0,0150
Estimativa da Razão de Chances (Odds)					
Variáveis	Valor Estimado		Intervalo de Confiança de Wald 95%		
Veículo pesado	6,981		3,538 13,775		
Ação condutor	1,436		1,180 1,747		
Obstáculo	1,455		1,037 2,041		
Interseção	1,244		1,026 1,509		
Luminosidade	1,263		1,046 1,525		
Teste de Qualidade de Ajuste					
Teste de Hosmer e Lemeshow	Qui-quadrado		GL	Pr > ChiSq	
	0,7246		6	0,9939	

Tabela 20 - Parâmetros estimados para o modelo dos grupos etários dos condutores envolvidos: Sênior

Resumo do Modelo					
Número de Observações		2668			
Evento de Interesse		0			2380
		1			288
Estimativa dos coeficientes de regressão - Método da Máxima Verossimilhança					
Variável	GL	Coeficiente Estimado	Erro padrão	Qui-quadrado de Wald	Pr > ChiSq
Intercept	1	-2,9791	0,2164	189,5832	<,0001
Veículo pesado	1	-1,9613	0,5866	11,1801	0,0008
Ação condutor	1	0,3260	0,1549	4,4319	0,0353
Sinalização vertical	1	0,7077	0,2991	5,5980	0,0180
Aderência	1	0,3850	0,1479	6,7747	0,0092
Luminosidade	1	0,4954	0,1544	10,2896	0,0013
Estimativa da Razão de Chances (Odds)					
Variável	Valor Estimado		Intervalo de Confiança de Wald 95%		
Veículo pesado	0,141		0,045 0,444		
Ação condutor	1,385		1,023 1,877		
Sinalização vertical	2,029		1,129 3,647		
Aderência	1,470		1,100 1,964		
Luminosidade	1,641		1,213 2,221		
Teste de Qualidade de Ajuste					
Teste de Hosmer e Lemeshow	Qui-quadrado		GL	Pr > ChiSq	
	0,8291		6	0,9913	

4.3.4.2 - Análise e discussão de resultados - Grupo etário dos condutores

A Tabela 18 apresenta os resultados do modelo desenvolvido para os acidentes ocorridos nas zonas com obstáculos ou em obras que envolveram condutores jovens (condutores com menos de 25 anos de idade). Num total de 2668 condutores envolvidos neste tipo de acidentes entre 2013 e 2015, 358 eram jovens. A variável explicativa relativa à circulação em excesso de velocidade apresentou o único coeficiente positivo das variáveis que se mostraram significativas no processo de modelação (“veículo pesado”, “excesso de velocidade”, “aderência” e “luminosidade”), revelando ser o fator mais importante nas situações em que se verifica o envolvimento de jovens condutores, sendo a probabilidade de ocorrência do acidente mais de 2 vezes superior à não ocorrência. A probabilidade de ocorrência envolvendo condutores jovens diminui numa ordem de grandeza semelhante com boas condições de luminosidade (em pleno dia), com o envolvimento de veículos pesados e em condições de pavimento seco e limpo.

Os resultados do modelo para a ocorrência deste tipo de acidentes envolvendo condutores adultos (com idades compreendidas entre os 25 e os 64 anos de idade) são apresentados na Tabela 19, onde se pode verificar que, num total de 2668 condutores, estiveram envolvidos nos acidentes ocorridos nas zonas com obstáculos ou em obras 1951 condutores adultos. Das 11 variáveis consideradas na modelação, 5 revelaram-se significativas: “veículo pesado”, “ação condutor”, “obstáculo”, “interseção” e “luminosidade”. Destas, o envolvimento de veículos pesados revelou ser o fator mais influente, com uma probabilidade de ocorrência quase 7 vezes superior à probabilidade de não ocorrência do acidente envolvendo pelo menos um condutor adulto. A circulação em marcha normal de pelo menos um dos condutores envolvidos, as interseções, a presença inesperada de um obstáculo na faixa de rodagem e a luz do dia, são também fatores com influência positiva, aumentando a probabilidade de ocorrência do acidente envolvendo estes condutores entre 1,24 e 1,46 vezes.

A Tabela 20 apresenta os resultados da modelação efetuada para o envolvimento de condutores séniores (condutores com idade superior a 64 anos). A análise dos dados mostrou que 288 condutores, num total de 2668 envolvidos neste tipo de acidentes, pertencem ao grupo etário sénior. A análise revelou que as variáveis “veículo pesado”, “ação condutor”, “sinalização vertical”, “aderência” e “luminosidade” foram significantes na modelação. A probabilidade de ocorrência de acidentes envolvendo estes condutores diminui com o envolvimento de veículos pesados e aumenta com o desrespeito pela sinalização vertical, que é o fator que mais influencia o modelo, com uma probabilidade de ocorrência de acidentes deste tipo envolvendo séniores mais de 2 vezes superior à probabilidade de não ocorrência, quando se verifica esta situação. Condições de luminosidade diurna, um pavimento seco e limpo e a circulação em marcha normal são também fatores que influenciam positivamente estas ocorrências, com valores estimados para o odd ratio compreendidos entre 1,30 e 1,65 vezes.

Analisando os resultados obtidos para os grupos etários dos condutores envolvidos nos acidentes em zonas de obstáculos ou em obras, de um modo geral verificou-se que as variáveis relacionadas com os fatores atmosféricos, a localização em meio urbano ou rural, o envolvimento de motociclos, o desrespeito pela distância de segurança, e a circulação em vias rápidas num traçado geométrico favorável (reto e em patamar), não foram significantes em qualquer um destes modelos. As variáveis “luminosidade” e “ação condutor” tiveram influência positiva nos modelos em que entraram, indicando que, estes acidentes tendem a acontecer quando os condutores circulam em marcha normal sob boas condições de luminosidade. Outros fatores que revelaram ser significantes, com influência positiva em pelo menos um modelo foram: o envolvimento de veículos pesados, a prática de velocidade excessiva, a presença inesperada de um obstáculo na faixa de rodagem, o desrespeito pela sinalização vertical e a área de influência de uma interseção de vias.

4.4 - Análise comparativa dos resultados obtidos com as funções de ligação *logit* e *probit*

A título de comparação foram ainda desenvolvidos modelos de regressão usando a função de ligação *probit*. A análise comparativa debruçou-se essencialmente sobre os coeficientes de regressão estimados por ambas as funções de ligação e nos resultados obtidos pelos testes de ajuste dos modelos.

Para comparar os coeficientes estimados pelos dois modelos é necessário estandardizar os coeficientes do modelo *logit* dividindo-os pelo desvio padrão desta função ($\pi/\sqrt{3}$). Desta forma, os coeficientes estandardizados são diretamente comparáveis aos coeficientes estimados pelo modelo *probit* (Maroco 2007).

As tabelas 21 a 23 apresentam uma comparação dos coeficientes estimados por ambas as funções de ligação bem como os resultados dos testes de ajuste.

Tabela 21 - Parâmetros estimados pelas funções logit e probit para os modelos por tipo de acidente

Modelos - Natureza do acidente								
Variável	Atropelamento de Peões		Despiste Simples		Colisão Lateral		Colisão Traseira	
	Nº de Observações	223	Nº de Observações	232	Nº de Observações	211	Nº de Observações	190
	Logit *	Probit	Logit*	Probit	Logit*	Probit	Logit*	Probit
Intercept	-1,8601	-1,7779	-0,8624	-0,9281	-2,3201	-2,2831	-1,8867	-1,8843
Localização	1,1358	1,0488	-0,535	-0,5275	0,2724	0,2628	-0,6274	-0,6041
Veículo pesado	-	-	-1,2698	-1,0966	0,4556	0,4695	-	-
Motociclo	-1,4572	-1,3156	0,6791	0,6714	-	-	-0,5714	-0,5107
Ação condutor	-0,6353	-0,6693	-	-	0,4626	0,4140	0,5012	0,4834
Velocidade	-0,4784	-0,3811	-	-	-	-	0,5464	0,5349
Obstáculo	-0,6265	-0,5879	-	-	-0,6707	-0,6120	-0,6869	-0,6513
Sinalização vertical	-	-	-	-	0,7535	0,8129	-	-
Distância de segurança	-0,8361	-0,8051	-	-	-	-	1,220	1,2793
Limite de velocidade	-	-	-	-	-	-	-	-
Interseção	-0,2115	-0,2460	-	-	0,8680	0,8450	-	-
Traçado em planta	0,3651	0,3470	-	-	-	-	0,4970	0,4613
Traçado em perfil	-	-	-	-	-	-	-	-
Aderência	0,2594	0,2699	-	-	0,2756	0,2413	-	-
Luminosidade	0,310	0,2863	-	-	-	-	0,3375	0,3020
Fatores atmosféricos	-	-	-	-	-	-	-	-
Taxa de alcoolémia	-	-	-	-	-	-	-	-
Teste Hosmer & Lemeshow	0,4949	0,3489	0,8874	0,7935	0,5065	0,4149	0,5982	0,3951

Nota: * - Valores estandardizados

Tabela 22 - Parâmetros estimados pelas funções logit e probit para os modelos por fator contribuinte

Variável	Modelos - Fatores Contribuintes							
	Velocidade Excessiva		Obstáculo imprevisto		Distância de Segurança		Sinalização Vertical	
	Nº de Observações	163	Nº de Observações	209	Nº de Observações	67	Nº de Observações	74
	Logit *	Probit	Logit*	Probit	Logit*	Probit	Logit*	Probit
Intercept	-0,5970	-0,7120	-0,9204	-0,9789	-2,5159	-2,3239	-3,085	-2,7784
Localização	-0,4382	-0,4062	0,2375	0,2140	-	-	0,6380	0,4641
Veículo pesado	-	-	-	-	-	-	0,6528	0,5110
Motociclo	-	-	0,5338	0,5288	-0,5968	-0,4447	-	-
Ação condutor	-	-	-	-	-	-	-	-
Velocidade	-	-	-	-	-	-	-	-
Obstáculo	-	-	-	-	-	-	-	-
Sinalização vertical	-	-	-	-	-	-	-	-
Distância de segurança	-	-	-	-	-	-	-	-
Limite de velocidade	0,7199	0,7012	-	-	-	-	-	-
Interseção	-	-	-0,3074	-0,2977	-	-	1,0252	0,8424
Traçado em planta	-0,3504	-0,3100	-	-	0,6821	0,5115	-	-
Traçado em perfil	-	-	-0,1814	-0,1704	-	-	-	-
Aderência	-	-	-0,3574	-0,3434	0,3621	0,2894	0,3898	0,3559
Luminosidade	-0,250	-0,1902	-0,2364	-0,2340	-	-	-	-
Fatores atmosféricos	-	-	-	-	-	-	-	-
Taxa de alcoolémia	-	-	-	-	-	-	-	-
Teste Hosmer & Lemeshow	0,2809	0,2902	0,1818	0,8362	0,4877	0,4192	0,0604	0,0691

Nota: * - Valores estandardizados

Tabela 23 - Parâmetros estimados pelas funções logit e probit para os modelos por grupo etário dos condutores

Variável	Modelos - Grupo Etário					
	Jovem		Adulto		Sénior	
	Nº de Observações	358	Nº de Observações	1951	Nº de Observações	288
	Logit*	Probit	Logit*	Probit	Logit*	Probit
Intercept	-0,7316	-0,8128	0,2243	0,2552	-1,6425	-1,6814
Localização	-	-	-	-	-	-
Veículo pesado	-1,775	-1,3892	1,0713	1,0550	1,0813	-0,8992
Motociclo	-	-	-	-	-	-
Ação condutor	-	-	0,1994	0,2213	0,1797	0,1729
Velocidade	0,4110	0,4199	-	-	-	-
Obstáculo	-	-	0,2067	0,2158	-	-
Sinalização vertical	-	-	-	-	0,3902	0,3886
Distância de segurança	-	-	-	-	-	-
Limite de velocidade	-	-	-	-	-	-
Interseção	-	-	0,1206	0,1322	-	-
Traçado em planta	-	-	-	-	-	-
Traçado em perfil	-	-	-	-	-	-
Aderência	-0,1447	-0,1415	-	-	0,2123	0,1942
Luminosidade	-0,2979	-0,2922	0,1288	0,1412	0,2731	0,2549
Fatores atmosféricos	-	-	-	-	-	-
Taxa de alcoolémia	-	-	-	-	-	-
Teste Hosmer & Lemeshow	0,7688	0,7367	0,9939	0,8430	0,9913	0,9905

Nota: * - Valores estandardizados

Os resultados apresentados nas tabelas 21 a 23 confirmam que os coeficientes estimados por ambas as funções de ligação são próximos, significando que a escolha da função de ligação não altera significativamente a descrição do modelo, nem a influência das variáveis explicativas na ocorrência da variável dependente. Contudo o tamanho da amostra tem alguma influência nos resultados, uma vez que nos modelos com menor número de observações verifica-se uma maior diferença entre os coeficientes estimados. O teste de qualidade de ajuste *Hosmer and Lemeshow* indica, de um modo geral que, os modelos ajustam-se melhor aos dados usando a função *logit*.

A utilização da função *logit* apresenta uma grande vantagem em relação à utilização da função *probit*, uma vez que para além de estimar os coeficientes das variáveis explicativas, apresenta também os resultados sobre a forma de *odds* (razão de chances), permitindo uma interpretação mais fácil dos modelos. Por esta razão, a função *logit* é amplamente adotada em inúmeros estudos, pois permite uma melhor interpretação e compreensão dos resultados.

4.5 - Análise global dos resultados

Para uma análise geral dos resultados obtidos nos modelos desenvolvidos, a Tabela 24 apresenta um resumo do impacto das 16 variáveis explicativas em cada um dos 11 modelos obtidos. As colunas da tabela apresentam os modelos enquanto que as linhas apresentam as variáveis explicativas que foram consideradas na modelação. As células preenchidas com a letra “P” indicam que a variável tem influência positiva na ocorrência do acidente, ou seja, aumenta a sua probabilidade de ocorrência. Por outro lado, células preenchidas com a letra “N” indicam que a variável tem influência negativa no acidente (diminuem a probabilidade de ocorrência). Para uma melhor interpretação da tabela, são também apresentados os valores da razão de chances (*odds ratio*).

Ao observar a Tabela 24 é possível verificar, numa análise global, que a variável “fatores atmosféricos” não teve qualquer tipo de influência em nenhum dos modelos testados, enquanto que as variáveis “limite de velocidade” e “desrespeito pela sinalização vertical”, influenciaram positivamente apenas 1 modelo. Por outro lado, “aderência” foi a variável que influenciou positivamente um maior número de modelos (5), seguido da “localização”, “ação condutor” e “luminosidade” com influência positiva em 4 dos 11 modelos considerados. Apesar de significativa em 4 modelos, a variável “obstáculo imprevisto na via” teve influência positiva em apenas 1 modelo.

Tendo em conta o ambiente rodoviário (urbano ou rural), no que toca à natureza do acidente é possível verificar que o meio urbano é mais suscetível à ocorrência de atropelamentos de peões e de colisões laterais. Por outro lado, em meio rural é mais frequente a ocorrência de

despistes simples e de colisões traseiras. Em relação aos fatores contribuintes, estes revelam ter maior influência nas áreas urbanas onde se verifica essencialmente a presença inesperada de obstáculos na via e o desrespeito da sinalização vertical. A ocorrência de acidentes em meio urbano, especialmente em interseções que, como esperado, está associada às colisões laterais e ao desrespeito pela sinalização, aponta para a necessidade de um melhoramento na sinalização das zonas em obras em meio urbano. Um tratamento mais cuidado destas zonas na perspetiva da circulação de peões e trabalhadores da zona em obras, deve ser igualmente considerado em meio urbano. Em meio rural, a velocidade excessiva verificou ser um fator de impacto importante, apontando para a necessidade de um melhor controlo da variação da velocidade na aproximação e no atravessamento das zonas em obras.

Segundo as características geométricas da estrada, para um traçado em planta que se desenvolve em alinhamento reto, é possível verificar que esta característica aumenta a probabilidade de ocorrência de acidentes do tipo atropelamento (essencialmente em meio urbano) e de colisões traseiras (que decorrem sobretudo em meio rural), estando associada a um desrespeito da distância de segurança, que influencia principalmente este último tipo de acidentes, o que aponta para a necessidade de implementação de medidas de controlo da velocidade nas zonas em obras nos meios rurais. Em relação aos meios urbanos alerta-se para a necessidade de intervir na circulação de forma segura de peões e trabalhadores de modo a minimizar a tendência de atropelamentos verificada.

Considerando as condições de aderência dos pavimentos, é possível verificar que perante um pavimento seco e limpo, a probabilidade de ocorrência de atropelamentos e de colisões laterais aumenta, aliada ao desrespeito tanto da distância de segurança como da sinalização vertical, esta última sobretudo por parte dos condutores do grupo etário sénior. Estes fatores apontam para a necessidade de uma adequada sinalização das zonas em obras em meio urbano, sobretudo na proximidade de interseções. Por outro lado, perante condições de aderência adversas (húmido, molhado ou com areia), a tendência aponta para a ocorrência de acidentes com a presença de obstáculos na via ou com o envolvimento de condutores do grupo etário jovem. Estes resultados apontam para a necessidade de tomar medidas adicionais para evitar a presença de obstáculos na via, normalmente associados a materiais ou equipamentos de obra, de forma a garantir a circulação em segurança dos utentes ao longo da zona em obras. Devem ainda ser implementadas medidas de controlo de velocidade, uma vez que estes condutores (jovens) tendem a circular em excesso de velocidade perante condições adversas.

Quanto às classes de veículo envolvidos nestes locais, é possível verificar que os veículos pesados tendem a envolver-se em acidentes por colisão lateral e em acidentes onde pelo menos um condutor desrespeitou a sinalização vertical, sobretudo em meio urbano, o que aponta novamente para a necessidade de garantir condições de sinalização e aproximação adequadas nas zonas em obras que decorrem nestes locais. Os condutores do grupo etário adulto tendem a sofrer acidentes com o envolvimento deste tipo de veículos, o que seria de esperar, uma vez

que normalmente os condutores destes veículos pertencem a esta classe etária (adultos). Quanto aos veículos do tipo motociclo, estes tendem a envolver-se em acidentes por despiste simples e pela presença inesperada de um obstáculo na via em meio rural, o que aponta para a necessidade de intervir ao nível do controlo da velocidade na aproximação e atravessamento destas zonas também ao nível destes veículos, apesar de os modelos em que se verificou o impacto positivo dos motociclos não terem mostrado que o excesso de velocidade era uma variável significativa.

Perante boas condições de luminosidade, a probabilidade de ocorrência de atropelamentos e de colisões traseiras aumenta. Em contrapartida, a probabilidade de ocorrência de um acidente com um obstáculo imprevisto na via ou de um acidente em que pelo menos um condutor circule em excesso de velocidade aumenta perante condições de visibilidade reduzidas, o que aponta para a importância de garantir uma boa sinalização e iluminação destas zonas, assim como medidas adicionais para evitar a presença de obstáculos na via provenientes de materiais ou equipamentos usados nas atividades de manutenção da estrada. Os condutores mais jovens tendem a estar envolvidos em acidentes quando circulam com visibilidade reduzida.

É de ressaltar que devido à falta de informação disponível a respeito do número, comprimento, duração ou tráfego de atravessamento das zonas em obras, os modelos e a análise global apresentada não incorpora de forma explícita a exposição ao risco de acidente. No entanto, o risco associado pode ser minimizado através de uma intervenção definida tendo em conta as variáveis críticas identificadas na análise de regressão logística.

Tabela 24 - Resumo do impacto (*odds ratio*) de cada variável explicativa nos modelos desenvolvidos

Variáveis explicativas	Modelos										
	Tipo de acidente				Fator contribuinte				Grupo etário		
	Atropelamento	Colisão lateral	Despiste simples	Colisão traseira	Obstáculo imprevisto	Velocidade excessiva	Sinalização vertical	Distância segurança	Jovem	Adulto	Sénior
Localização	P 7,847	P 1,639	N 0,379	N 0,320	P 1,538	-	P 3,180	-	-	-	-
Envolvimento de veículo pesado	-	P 2,286	N 0,100	-	-	-	P 3,268	-	N 0,040	P 6,981	N 0,141
Envolvimento de Motociclo	N 0,071	-	P 3,428	N 0,355	P 2,633	-	-	N 0,339	-	-	-
Ação condutor	N 0,316	P 2,314	-	P 2,482	-	N 0,452	-	-	-	P 1,436	P 1,385
Velocidade excessiva	N 0,420	-	-	P 2,694	N/A	N/A	N/A	N/A	P 2,107	-	-
Obstáculo imprevisto na via	N 0,321	N 0,296	-	N 0,288	N/A	N/A	N/A	N/A	-	P 1,455	-
Sinalização vertical	-	P 3,922	-	-	N/A	N/A	N/A	N/A	-	-	P 2,029
Distância de segurança	N 0,219	-	-	P 9,135	N/A	N/A	N/A	N/A	-	-	-
Limite de velocidade (≥90km/h)	-	-	-	-	-	P 3,690	-	-	-	-	-
Interseção	N 0,681	P 4,828	-	-	N 0,573	-	P 6,420	-	-	P 1,244	-
Traçado em planta reto	P 1,939	-	-	P 2,463	-	N 0,530	-	P 3,446	-	-	-
Traçado em perfil (patamar)	-	-	-	-	N 0,720	-	-	-	-	-	-
Aderência	P 1,600	P 1,649	-	-	N 0,523	-	P 2,028	P 1,928	N 0,769	-	P 1,470
Luminosidade	P 1,754	-	-	P 1,845	N 0,651	N 0,689	-	-	N 0,583	P 1,263	P 1,641
Fatores atmosféricos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Taxa de alcoolémia	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	-	-	-

Legenda: “P” - Influencia positivamente; “N”- Influencia negativamente; “-” - Não influencia; “N/A” - Não se aplica

Capítulo 5 - Conclusões e Trabalho Futuro

Capítulo 5 - Conclusões e Trabalho Futuro

O elevado número de vítimas resultantes de acidentes rodoviários ocorridos nas estradas da União Europeia obrigou as entidades governamentais e a comunidade científica a encetar esforços com vista a combater esta problemática. Os resultados obtidos a nível europeu demonstram que as medidas adotadas para reduzir o número de vítimas nas estradas tiveram um papel fundamental no combate à sinistralidade rodoviária, reduzindo significativamente os níveis de sinistralidade (entre 2001 e 2015 o número de vítimas mortais nas estradas da União Europeia baixou quase 50%). A nível nacional, as políticas de combate à sinistralidade revelaram igualmente ter sido eficazes. O número de vítimas mortais por milhão de habitante baixou de 108 para 60, entre 2006 e 2015, fazendo com que Portugal se aproxime cada vez mais da média da União Europeia. Contudo, deve-se continuar a mobilizar esforços para que estes números continuem a baixar.

Os fatores contribuintes para a ocorrência de acidentes estão relacionados com o condutor, o veículo e a infraestrutura. Como tal, o presente documento, enquadrado essencialmente nos fatores relacionados com a infraestrutura rodoviária, teve como principal objetivo uma análise estatística dos dados oficiais da sinistralidade rodoviária ocorrida nas zonas com obstáculos ou em obras em Portugal Continental durante o triénio de 2013 a 2015. Os acidentes nestes locais correspondem a 2 a 3% do total de acidentes (considerando apenas os casos em que o campo B4.3 foi corretamente preenchido), valor que tem verificado uma tendência decrescente nos últimos anos, o que não significa necessariamente uma melhoria na segurança. Tal facto pode estar associado à redução do investimento na manutenção e reabilitação das infraestruturas rodoviárias devido à crise financeira nacional, uma vez que o número de acidentes fora destes locais não segue a mesma tendência. Valores semelhantes foram obtidos por outros estudos consultados (ARROWS 1998; FORMAT 2005).

Apesar dos riscos que lhes estão associados, as zonas em obras são intervenções necessárias para a preservação da infraestrutura rodoviária. O risco associado a estes locais pode ser minimizado com recurso à sinalização temporária, uma vez que demarcam e protegem o local que é intervencionado. Por isso, é de extrema importância o desenvolvimento de documentação orientadora, como é o caso dos manuais de sinalização temporária da JAE e do FHWA (Federal Highway Administration 2007; Junta Autónoma de Estradas 1997a; b), com indicações claras sobre a correta e eficaz sinalização destes locais, de forma a minimizar a probabilidade de ocorrência de acidentes rodoviários e a aumentar a segurança destas zonas. No entanto, a documentação existente é essencialmente direcionada para o tratamento das zonas em obras em meio rural, pelo que urge desenvolver também documentos orientadores para o caso das zonas urbanas, normalmente expostas a volumes de tráfego mais significativos. No mesmo sentido, ao longo das últimas décadas, a comunidade científica tem-se debruçado sobre esta temática, existindo um conjunto alargado de publicações que abordam aspetos como a

identificação dos fatores de risco mais significativos, a avaliação dos custos associados às zonas em obras, a eficácia dos dispositivos de controlo de tráfego e medidas mitigadoras, entre outros.

Uma vez que a ocorrência de um acidente é uma resposta binária (ocorrência/não ocorrência) e pode ser explicada por uma série de fatores, a regressão logística binária é uma ferramenta estatística apropriada a usar neste tipo de estudo, contudo, deve-se ter especial atenção nas decisões tomadas durante o processo de modelação, nomeadamente as relacionadas com a escolha do método de seleção de variáveis, da função de ligação, do nível de significância e do teste de ajuste, uma vez que estas escolhas influenciam o resultado final dos modelos. Esta abordagem é em geral escolhida em detrimento da abordagem probit, uma vez que, a interpretação dos resultados em termos de *odds ratio* é mais fácil do que a interpretação das estimativas dos coeficientes de regressão.

No que toca aos dados oficiais disponíveis para análise, foram identificados alguns aspetos que limitam a análise. A percentagem de registos da base de dados fornecida correspondentes a boletins indevidamente preenchidos durante o período de análise foi de 23,4%, o que leva a concluir que a proporção de acidentes nestes locais poderá ser superior à obtida. Contudo, ainda que a totalidade de boletins estivesse corretamente preenchida, não levaria a conclusões concretas acerca da proporção exata de acidentes nas zonas em obras, uma vez que os acidentes nestes locais são registados em conjunto com os acidentes ocorridos devido à presença de obstáculos na via. Uma outra limitação identificada neste estudo foi a falta de registo de informação que permita aferir a exposição ao risco de acidente nas zonas em obras, uma vez que não são registados dados sobre o número, comprimento, duração, densidade dos trabalhos ou fluxo de tráfego de atravessamentos nestas zonas. A falta destes dados não permite determinar diretamente o incremento do risco associado a uma zona em obras. Tendo em conta as lacunas identificadas, deve ser promovido um correto preenchimento dos boletins de registo de acidentes, uma separação do registo deste tipo de acidentes dos ocorridos devido à presença de obstáculos no pavimento, bem como a incorporação de campos de registo que permitam obter informação acerca da exposição ao risco nas zonas onde decorrem trabalhos. A concretização destes aspetos levará a uma recolha mais alargada de dados e à obtenção de dados mais fiáveis, permitindo uma melhor compreensão dos fatores envolvidos na ocorrência deste tipo de acidentes e a aplicação de métodos de análise estatística mais complexos.

Previamente ao desenvolvimento dos modelos de regressão foi necessário proceder a um tratamento dos dados e a uma análise estatística exploratória. Uma vez que um acidente pode envolver mais do que um condutor e perante a impossibilidade de identificar o condutor responsável pelo acidente, tornou-se necessário organizar duas bases de dados, uma com informação organizada por acidente (1767 acidentes) e outra organizada por condutores/veículos intervenientes (2668 condutores/veículos). Após este tratamento foi possível efetuar a análise estatística exploratória. Os resultados da análise indicaram o

atropelamento de peões (12,6%), o despiste simples (13,1%), a colisão lateral (11,9%) e a colisão traseira (10,8%) como os tipos de acidentes mais frequentes durante o período de análise. A presença inesperada de obstáculos na via (8,3%), a circulação em excesso de velocidade (6,3%), o desrespeito pela sinalização vertical (2,9%) e o desrespeito da distância de segurança (2,8%) foram os fatores contribuintes predominantes. O grupo etário correspondente à idade adulta, foi o que registou maior número de condutores envolvidos (75,1%) enquanto que os grupos etários dos condutores considerados de risco (jovem e sénior), estiveram envolvidos em 13,8% e 11,1% dos acidentes respetivamente. Estes resultados vão de encontro aos resultados consultados na revisão bibliográfica (Bai and Li 2006; Garber and Zhao 2002; Li and Bai 2009; Lu et al. 2008; Pigman and Agent 1988).

Para além destes resultados foram identificados os fatores predominantes associados a várias características relacionadas com a identificação do acidente, circunstâncias externas, condutores intervenientes e consequências do acidente (tabelas 5 a 8), bem como a tipologia dos veículos intervenientes (gráficos 43 e 44). De acordo com os resultados obtidos e com a bibliografia consultada, foi feita uma seleção de 11 variáveis dependentes (correspondendo aos 11 modelos desenvolvidos) e de 16 variáveis explicativas, todas codificadas como variáveis dicotómicas, o que permitiu aplicar o método estatístico de regressão logística binária.

Com recurso a estas variáveis, foi possível desenvolver séries de modelos de regressão logística binária por natureza do acidente (4 modelos: atropelamento de peões, despiste simples, colisão lateral, colisão traseira), por fator contribuinte (4 modelos: excesso de velocidade, obstáculo imprevisto na via, desrespeito pela sinalização vertical e desrespeito pela distância de segurança) e por grupo etário (3 modelos: jovem, adulto e sénior), através dos quais foram identificados os fatores que mais influenciaram a ocorrência dos vários tipos de acidente analisados. Numa análise global aos modelos desenvolvidos, é possível verificar que o ambiente rodoviário (urbano ou rural), boas condições de visibilidade, um pavimento seco e limpo e um traçado em planta reto, revelaram ser fatores influentes na ocorrência de acidentes nas zonas em obras ou devido à presença de obstáculos no pavimento, uma vez que apresentam impacto positivo num número considerável de modelos, isto é, aumentam a probabilidade de ocorrência do acidente. Uma vez que estes fatores favorecem a condução em excesso de velocidade, e as zonas em obras são locais onde a velocidade de circulação deve ser limitada, os resultados apontam para o reforço das medidas de controlo da velocidade nos locais de aproximação e atravessamento destas zonas, especialmente em meio rural. Os resultados apontam ainda para a necessidade de um aumento da segurança das zonas em obras em meio urbano, sobretudo nos locais de interseções de vias, o que pode ser conseguido com um melhoramento na sinalização destes locais, de forma a adaptar adequadamente os utentes da estrada às novas condições de circulação. Ainda em meio urbano, um melhoramento nas condições de circulação de peões e trabalhadores nestes locais deve ser igualmente considerado.

Relativamente à comparação entre o uso das funções de ligação *logit* e *probit*, é possível verificar que os coeficientes de regressão estimados por ambas são muito próximos, havendo apenas um pequeno desvio para os modelos com amostra de menor dimensão (Distância de Segurança e Sinalização Vertical), indicando que a escolha da função de ligação não altera significativamente a descrição dos modelos. Contudo, em relação à qualidade de ajuste aos dados, a função *logit* revelou um melhor ajuste na maior parte dos modelos (maior poder estatístico), apenas o modelo correspondente ao fator contribuinte “obstáculo imprevisto” foi exceção à regra apresentando uma grande diferença entre os valores do teste de ajuste para as duas funções. Para além dos aspetos mencionados, a decisão do uso dos resultados da função *logit* em detrimento dos obtidos na função *probit* na interpretação dos resultados obtidos está relacionada com a facilidade de interpretação dos resultados apresentados sob a forma de *odds*.

Como nota final, é possível concluir que o uso do método estatístico de regressão logística binária permitiu identificar os fatores com maior influência na ocorrência de acidentes nas zonas de obstáculos ou em obras. Este facto permite sustentar a escolha de soluções com vista à implementação de medidas de segurança apropriadas para minimizar a probabilidade de ocorrência de acidentes rodoviários nestes locais, tornando-os mais seguros tanto para os utentes como para os trabalhadores.

Uma vez atingidos os objetivos propostos, sugere-se como trabalho futuro o reforço e o refinamento dos resultados obtidos com recurso a outras abordagens estatísticas, começando pela regressão logística multinomial e avançando para outros métodos mais complexos. Sugere-se ainda a realização de análises diferenciadas por ambiente rodoviário e por consequências do acidente. Estes desenvolvimentos permitirão conseguir ainda melhores resultados na descrição dos acidentes ocorridos nas zonas em obras e na interpretação dos fatores envolvidos.

Referências Bibliográficas

- Al-ghamdi, A. S. (2002). "Using logistic regression to estimate the influence of accident factors on accident severity." *Accident Analysis and Prevention*, 34, 729-741.
- Allison, P. D. (2014). "Measures of Fit for Logistic Regression." *SAS Global Forum 2014*, 2(1970), 1-12.
- ARROWS. (1998). *Advanced Research on Road Work Zone Safety Standards in Europe*.
- Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária. (2016). "PENSE 2020: Plano Estratégico Nacional de Segurança Rodoviária."
- Bai, Y., and Li, Y. (2006). "Determining the Major Causes of Highway Work Zone Accidents in Kansas." (KU-05-1), 168.
- Cabral, C. I. S. (2013). "Aplicação do modelo de regressão logística num estudo de mercado." 59.
- Comissão Europeia. (2011). "Rumo a um espaço europeu de segurança rodoviária."
- Debnath, A. K., Blackman, R., Sheldrake, M., King, M., Biggs, H., and Sullivan, D. (2017). *Safety at Road Worksites*.
- Diário da República. (1998). "Decreto Regulamentar 22-A/98, de 1 de Outubro."
- Diário da República. (2007). *Lei nº 24/2007 de 18 de Julho*.
- Égide, A. W., and Permit, R. (2007). "User ' S Guide User ' S Guide." (333608), 1-2.
- EN ISO 20471. (2013). "New Standard for High Visibility Clothing."
- F. Branco, P. Pereira, L. P. S. (2016). *Pavimentos Rodoviários*. (E. Almedina, ed.), Coimbra.
- Federal Highway Administration. (2007). "Work Zone Safety & Mobility Manual." (February).
- Federal Highway Administration. (2009). "Manual on Uniform Traffic Control Devices." *Citeseer*, 864.
- FORMAT. (2005). *Fully Optimised Road Maintenance*.
- Freitas, L., Filho, S., Júnior, J., and Silva, F. (2013). "Comparação das funções de ligação probit e logit em regressão binária considerando diferentes tamanhos amostrais." *Enciclopédia Biosfera*, 9, 16.
- Gama, J. (2016). "Bioestatística Aplicada - Regressão Logística."
- Garber, N., and Zhao, M. (2002). "Distribution and Characteristics of Crashes at Different Work Zone Locations in Virginia." *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1794, 19-25.
- Hosmer, D. & Lemeshow, S. (2000). *Applied Logistic Regression*.

- Junta Autónoma de Estradas. (1997a). “Manual de Sinalização Temporária JAE - Tomo II - Estradas com uma Faixa de Rodagem.”
- Junta Autónoma de Estradas. (1997b). “Manual de Sinalização Temporária JAE - Tomo I - Estrada com dupla Faixa de Rodagem.”
- Lawless, J. F., and Singhal, K. (1978). “Efficient Screening of Nonnormal Regression Models.” *Biometrics*, 34(2), 318-327.
- Li, Y., and Bai, Y. (2009). “Effectiveness of temporary traffic control measures in highway work zones.” *47(3) OP-In Safety Science 2009 47(3):453-458*, 453.
- Lu, J., Wang, Z., and Wang, X. (2008). “Integrated Work Zone Safety Management System and Analysis Tools.” (April).
- Maroco, J. (2007). “Análise Estatística com utilização do SPSS.” Sílabo Edições, ed., 684-741.
- Naznin, F., Currie, G., and Logan, D. (2016). “Exploring the impacts of factors contributing to tram-involved serious injury crashes on Melbourne tram routes.” *Accident Analysis and Prevention*, 94 OP-Ac, 238-244.
- O’Halloran, S. (2016). “Lecture 9 : Logit / Probit.” *Sustainable Development U9611 Econometrics II*, (9611), 1-84.
- Organização Mundial de Saúde. (2015). *Relatório global sobre o estado da segurança viária*.
- Pigman, J. G., and Agent, K. R. (1988). “Analysis of Accidents in Construction and Maintenance Work Zones.” (June), 66p.
- Pigman, J. G. K., and Agent, R. (1990). “Highway Accidents in Construction and Maintenance Work Zone.” *Journal of the Transportation Research Board*, 12-21.
- República Portuguesa. (1998). “Diário da República - Decreto Regulamentar nº 22-A/98.” *Diário da República*, (2).
- Santos, B., and Picado-Santos, L. (2017). “Impact assessment of road work zones in operating conditions , safety and user costs.” *World Conference on Pavement and Asset Management, Milan, Italy*.
- Santos, B., Picado-Santos, L., and Trindade, V. (2017). “Using Binary Logistic Regression to Explain the Impact of Accident Factors on Work Zone Crashes.” *Road Safety and Simulation International Conference (submetido 3/17)*.
- Silverstein, C., Schorr, J., and Hamdar, S. H. (2016). “Work zones versus nonwork zones: Risk factors leading to rear-end and sideswipe collisions.” 8(4), 310-326.
- Sperandei, S. (2014). “Understanding logistic regression analysis.” *Biochemia Medica*, Croatian Society of Medical Biochemistry and Laboratory Medicine, 24(1), 12-18.
- Weng, J., and Meng, Q. (2011). “Analysis of driver casualty risk for different work zone types.” *Accident Analysis and Prevention*, 43(5), 1811-1817.

Anexos

- I. Boletim Estatístico de Acidentes de Viação.
- II. Exemplo de registo para a base de dados organizada por condutor/veículo interveniente.

Anexo I

- Boletim Estatístico de Acidentes de Viação (Página 1/2)

Instrumento de notação registado no I.N.E., sob o n.º 10111, válido até 31/12/2014

N.º Boletim

Entidade Fiscalizadora



[Reservado ao carimbo ou unidade]

A - a preencher em todos os acidentes B e seguintes - a preencher apenas em acidentes com vítimas

A - IDENTIFICAÇÃO DO ACIDENTE

A1 DATA/HORA
Ano Mês Dia Hora Min.

A2 LOCALIZAÇÃO
1 Fora das localidades
 Dentro das localidades

2 Distrito
Concelho
Freguesia
Povoação (ou a mais próxima)
Coordenadas GPS
Latitude
Longitude

3 Designação de via
Km
Arramento n.º

4 Se houver separador central indique em que sentido
1 Crescente
2 Decrescente

A3 TIPO DE ACIDENTE
1 Acidente só com danos materiais
2 Acidente com vítimas
Mortas
Feridos graves
Feridos leves

A4 NATUREZA DO ACIDENTE
1 Despiste
2 Colisão
3 Atropelamento

A5 NÚMERO DE VEÍCULOS INTERVENIENTES
Ciclomotor e motociclo
Veículo ligeiro
Veículo pesado
Outros

A6 CONDUTORES INTERVENIENTES
1 SEXO
A B C
1 Masculino
2 Feminino
2 DATA DE NASCIMENTO
A Ano Mês Dia B Ano Mês Dia
C Ano Mês Dia

B - CIRCUNSTÂNCIAS EXTERNAS

B1 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DA VIA
1 ESTRADA COM SEPARADOR
1 Autoestrada - nº de vias de trânsito no sentido
2 Outra via - nº de vias de trânsito no sentido
2 ESTRADA SEM SEPARADOR - nº de vias de trânsito no sentido
3 VIA DE TRÂNSITO
1 Esquerda
2 Direita
3 Central

B2 TRAÇADO DA VIA
1 EM PLANTA
1 Reto
2 Curva
2 EM PERFIL
1 Em palomar
2 Com inclinação
3 Em lombas

3.1 Sem bermas ou impraticável
2 Berma não pavimentada
3 Berma pavimentada

4. SITUAÇÃO DO ACIDENTE
1 Em plena via
2 Na berma
3 No passeio
4 Em via ou pista reservada
5 Em parque de estacionamento

5. INTERSECÇÃO DE VIAS
1 Fora da intersecção
Em intersecção de nível
2 Em cruzamento
3 Em entroncamento
4 Em rotunda
5 Em passagem de nível
Em intersecção desnivelada
6 Em via de aceleração
7 Em via de desaceleração
8 Em ramo de ligação - entrada
9 Em ramo de ligação - saída

6. ACIDENTE EM OBRAS DE ARTE
1 Túnel
2 Viaduto/Ponte
3 Passagem estreita

B3 REGIME DE CIRCULAÇÃO
1 FAIXA DE RODAGEM COM
1 Sentido único
2 Dois sentidos
3 Reversível
2 VELOCIDADE PERMITIDA NO LANÇO
limite geral Km/h
limite local Km/h

B4 PAVIMENTO
1 TIPO DE PISO
1 Terra batida
2 Betuminoso
3 Betão de cimento
4 Calçada
2 ESTADO DE CONSERVAÇÃO
1 Em bom estado
2 Em estado regular
3 Em mau estado

3. OBSTÁCULOS OU OBRAS
1 Inexistentes
2 Não sinalizadas
3 Insuficientemente sinalizadas
4 Corretamente sinalizadas

4. CONDIÇÕES DE ADERÊNCIA
1 Seco e limpo
2 Húmido
3 Molhado
4 Com água acumulada na faixa de rodagem
5 Com gelo, geada ou neve
6 Com lama
7 Com gravilha ou areia
8 Com óleo

B5 SINALIZAÇÃO
1 MARCAS NO PAVIMENTO
1 Sem marcas rodoviárias ou pouco visíveis
2 Com marcas - separadoras de sentido de trânsito
3 Com marcas - separadoras de sentido e de vias de trânsito
2 SINALIZAÇÃO LUMINOSA
1 Inexistente
2 A funcionar normalmente
3 Intermitente
4 Desligada

3. SINAIS
1 Stop
2 Cedência de passagem
3 Proibição de ultrapassagem
4 Passagem de peões
5 Outros

B6 LUMINOSIDADE
1 Em pleno dia
2 Sol encandeaente
3 Aurora ou crepúsculo
4 Noite, sem iluminação
5 Noite, com iluminação

B7 FATORES ATMOSFÉRICOS
1 Bom tempo
2 Chuva
3 Vento forte
4 Nevoeiro
5 Neve
6 Nuvem de fumo
7 Granizo

C - NATUREZA DO ACIDENTE

DESPISTE
1 Despiste simples
Com transposição do separador central
2 Com dispositivo de retenção
3 Sem dispositivo de retenção
4 Com transposição do dispositivo de retenção lateral
5 Com capotamento
6 Com colisão com veículo imobilizado ou obstáculo
7 Com fuga

COUSÃO
8 Frontal
9 Traseira com outro veículo em movimento
10 Lateral com outro veículo em movimento
11 Com veículo ou obstáculo na faixa de rodagem
12 Choque em cadeia
13 Com fuga
14 Outras situações

ATROPELAMENTO
15 De peões
16 De animais
17 Com fuga

Incêndio posterior: A B C
 A preencher no caso de se verificar

D - VEÍCULOS INTERVENIENTES

D1 CATEGORIA/CLASSE
1 VEÍCULOS A, B e C
A B C
1 Velocípede
2 Velocípede c/motor
3 Ciclomotor
4 Triciclo
5 Motociclo cilíndrica ≤ 125cc
6 Motociclo cilíndrica > 125cc
7 Automóvel ligeiro
8 Automóvel pesado
9 Veículo agrícola
10 Máquina industrial
11 Veículo sobre carris
12 Veículo de tração animal
13 Quadríciclo
14 Desconhecido
2 Se for automóvel ligeiro ou pesado, indicar o tipo:
A B C
1 Passageiros
2 Mercadorias
3 Misto
4 Trator
5 Veículo especial. Qual?

Anexo II

- Exemplo de registo para a base de dados organizada por condutor/veículo interveniente

N_Acidente	Natureza	Veiculo_Pesado_01	Inf_Comp_Acoes	Intersecao_Vias	Tracado2_01
2013715617	Despiste simples	0	Não identificada	Fora da intersecção	1
Datahora	Atropelamento_peões_01	Motociclo_Ciclomotor_01	V_excessiva_01	Intersecao_Vias_01	Tracado3
2013:03:20 18:10:00	0	1	0	0	Berma pavimentada
Distrito	Colisao_Lateral_01	Tipo_Veiculo	Obstaculo_Imp_01	Marca_Via	Tracado4
Braga	0	NÃO DEFINIDO	0	Com marcas - separadoras de sentido e de vias de trânsito	Em plena via
Concelho	Colisao_Traseira_01	Idade	Desr_Dist_Seguranca_01	Obras_Arte	Estadodeconservacao
Guimarães	0	16	0	NÃO DEFINIDO	Em estado regular
Freguesia	Despiste_Simples_01	Grupo_etario	Desr_Sin_Vertical_01	Sinais	Condicoesdeaderencia
Serzedelo	1	Menos de 25	0	Passagem de peões	Seco e limpo
Via	Mortos	Junior_01	Lesoes	Sinais_Luminosos	Condicoesaderencia_01
EN310	0	1	Ileso	A funcionar normalmente	1
Aruamento	F_graves	Meia_idade_01	Obstaculos_Obras	Tipo_Piso	Luminosidade
	0	0	Correctamente sinalizados	Betuminoso	Em pleno dia
Km	F_leves	Senior_01	Caracteristicas_Tecnicas1	Tracado1	Luminosidade_01
26,15	1	0	Estrada sem separador	Curva	1
Localização	N_Veiculo	Acoes_Condutores	Limite_Velocidade_01	Tracado1_01	Fatoresatmosféricos
Dentro das localidades	1	Em marcha normal	0	0	Bom tempo
Localização_01	Categoria_Veiculo	Acoes_Condutores_01	Reg_Circulacao1	Tracado2	Fatoresatmosféricos_01
1	Motociclo cilindrada <= 125cc	1	Dois sentidos	Em patamar	1

