



UNIVERSIDADE
LUSÓFONA
DO PORTO

Miguel Ângelo Pereira de Sousa

**Gestão operacional e de emergência
num acidente com matérias perigosas:
Caso de estudo na Linha de Leixões**

Trabalho realizado sob orientação do
Professor Doutor Artur Fernandes Costa

Com o apoio de:



Fevereiro de 2022



Miguel Ângelo Pereira de Sousa

Gestão operacional e de emergência num acidente com matérias perigosas: Caso de estudo na Linha de Leixões

Dissertação de Mestrado

Mestrado em Proteção Civil

Dissertação defendida em provas públicas na Universidade Lusófona do Porto no dia 28/02/2022, perante o júri seguinte:

Presidente:

Professor Doutor Nuno Correia dos Santos (Professor Auxiliar na Universidade Lusófona do Porto)

Vogais:

Professor Doutor António Leça Coelho (Investigador principal com habilitação no Laboratório Nacional de Engenharia Civil)

Professora Doutora Kalina Alexandrova Samardjieva (Professor Auxiliar na Universidade Lusófona do Porto)

Orientador:

Professor Doutor Artur Fernandes Costa (Professor Catedrático Convidado da Universidade Lusófona do Porto)

Fevereiro de 2022

Declaração

Autorizo a reprodução integral desta dissertação apenas para efeitos de investigação, mediante declaração escrita do interessado, que a tal se compromete.

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Miguel Ângelo Sousa". The signature is fluid and cursive, with a large initial 'M' and 'A'.

Aos meus pais e à minha Catarina

Agradecimentos

Com a chegada do final de uma das etapas mais importantes da minha vida e percurso académico, não poderia deixar passar a oportunidade de endereçar os meus agradecimentos a quem tornou isto possível. A gratidão é, para mim, imprescindível.

O meu primeiro agradecimento vai para o meu orientador, o Professor Doutor Artur Costa, pela inexcedível orientação que me proporcionou, pelos muitos ensinamentos que me transmitiu e por todo o apoio e incentivo que me deu nesta caminhada. Eternamente grato.

À Câmara Municipal de Matosinhos, na pessoa da Dr.^a Susana Gonçalves, pelo apoio concedido, cedência de informações e por terem depositado em mim a confiança para o desenvolvimento de um trabalho que, espero, possa contribuir na proteção e socorro das populações locais. Obrigado também ao Dr. Henrique Rodrigues e ao Dr. Paulo Gonçalves, este último, por cedo me ter incutido o gosto pela temática das matérias perigosas, pelos ensinamentos e por tanto confiar no meu trabalho. Sempre grato.

À Infraestruturas de Portugal, na pessoa do Eng.^o Pedro António, pelos contributos e pelos esclarecimentos que foram importantes para o desenvolvimento do trabalho.

À Universidade Lusófona do Porto, na pessoa do diretor do mestrado, o Professor Doutor Nuno Santos, e ao demais corpo docente, por tudo o que me ensinaram e que fará de mim um profissional melhor.

Ao Johnny Reis, ao André Rodrigues e ao Daniel Graça, por todo o apoio, dicas, incentivo e por, acima de tudo, me terem feito acreditar de que era capaz de conseguir. Foram inexcedíveis. Muito obrigado. Este trabalho também é vosso.

Aos meus colegas de turma, em especial à Teresa Lencastre e ao Rui Rocha, por todos os momentos que me proporcionaram, pelo apoio e pela vossa amizade. Levo, com toda a certeza, dois amigos para a vida. A todos os outros meus amigos, com atenção especial à Patrícia, o meu muito obrigado.

Aos meus pais, por me terem ensinado a lutar e a nunca desistir do que realmente quero, por terem feito sempre tudo o que puderam por mim e por sempre me terem apoiado. Estou e estar-vos-ei sempre gratos por tudo. Um obrigado do tamanho do mundo.

À minha Catarina, à minha mulher, por ter acompanhado este meu caminho de uma forma tão especial e próxima, por nunca me ter deixado cair nos momentos mais difíceis, e pelo amor que me dá todos os dias. A tua presença é essencial para mim e, sem ti, isto não seria possível. Espero que sintas orgulho no nosso caminho e no que, juntos, vamos alcançando. Um enorme obrigado.

Resumo

Os acidentes com matérias perigosas em trânsito são raros e, por via disso, também muito desconhecidos da grande maioria dos atores de proteção civil. Apesar disso, quando se manifestam, as suas consequências são geralmente dramáticas pela amplitude dos danos em pessoas, bens e ambiente que podem originar. Os acidentes com matérias perigosas obrigam a processos de emergência complexos, onde o nível de conhecimento sobre as variáveis que ditam o seu maior ou menor sucesso é um fator crítico. Na procura de ações de resposta mais eficazes, urge, assim, conhecer melhor essas variáveis. Por outro lado, também se justifica questionar os processos empregues nas operações de proteção e socorro aplicáveis a acidentes desta natureza, analisando, nomeadamente, as próprias diretrizes operacionais aplicáveis.

Este é o contexto e a motivação para o desenvolvimento da presente, onde se toma para exemplo a linha de Leixões, no concelho de Matosinhos, e se consideram dois tipos de acidentes, um envolvendo uma matéria inflamável, o metano líquido refrigerado, e outro, uma matéria tóxica, o diisocianato de tolueno. Em ambos os casos, se procede à modelação computacional de vários cenários integrando variáveis espaciais, temporais e climáticas, entre outras, com vista à melhor compreensão de potenciais efeitos e consequências, tanto ao nível da radiação térmica como de efeitos tóxicos. À luz dos resultados alcançados, analisa-se criticamente o estabelecido atualmente no âmbito da gestão da emergência.

Integrou-se neste processo o software Aloha e a ferramenta *Arcmap*, complementados pela metodologia “*Areal Weighting*”, para determinar as consequências dos dois tipos de acidente para a população, infraestruturas e bens, documentadas com resultados que se apresentam extensivamente. Posteriormente, fez-se uma comparação com o manual de intervenção em acidentes com matérias perigosas da ANEPC, para aferir a sua adequabilidade perante os cenários produzidos.

A partir do caso do diisocianato de tolueno, conclui-se que as variáveis meteorológicas são altamente influenciadoras na gestão de emergências em que se verifique a formação de nuvens tóxicas e que as atuais diretrizes operacionais carecem de atualização e de um complemento de informação. Ambos os acidentes simulados também evidenciam a importância das variáveis locais nos processos de planeamento e gestão destas crises.

Palavras-Chave: Matérias Perigosas; Modelação de acidentes; Planeamento; Gestão da emergência; Proteção Civil.

Abstract

Accidents with dangerous materials in transit are rare and, therefore, also very unknown to many civil protection actors. Nevertheless, when they manifest themselves, their consequences are generally dramatic by the extent of the damage on people, property and the environment that can lead. Accidents with hazardous materials require complex emergency processes, where the level of knowledge about the variables that dictate their greatest or less success is a critical factor. In the searching for more effective response actions, it is therefore urgent to know these variables better. On the other hand, it is also justified to question the procedures used in protection and rescue operations applicable to accidents of this nature, examining, inter alia, the applicable operational guidelines themselves.

This is the context and motivation for the development of the present, where the Leixões line is taken for example, in the municipality of Matosinhos, and two types of accidents are considered, one involving a flammable matter, refrigerated liquid methane, and the other, a toxic matter, toluene diisocyanate. In both cases, the computational modeling of various scenarios are carried out integrating spatial, time and climatic variables, among others, with a view to a better understanding of potential effects and consequences, both in terms of thermal radiation and toxic effects. Due to the results achieved, the currently established emergency management is critically analyzed.

Aloha software and *Arcmap* software, complemented by the "*Areal Weighting*" methodology, were integrated into this process to determine the consequences of the two types of accidents for the population, infrastructure and property, documented with the results that are presented extensively. Subsequently, a comparison was made with the manual intervention in accidents with hazardous materials of ANEPC, to assess its suitability in the face of the scenarios produced.

From the case of toluene diisocyanate, it is concluded that meteorological variables are highly influential in the management of emergencies in which toxic clouds are forming and that the current operational guidelines need updating and a complement of information. Both simulated accidents also highlight the importance of local variables in the planning and management processes of these crises.

Keywords: Hazardous materials; Accident modelling; Emergency management; Civil protection

Índice

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	1
1.1. ENQUADRAMENTO	1
1.2. OBJETIVOS	2
1.3. METODOLOGIA	3
1.4. ESTRUTURA	3
CAPÍTULO 2 – ESTADO DA ARTE	5
2.1. MATÉRIAS PERIGOSAS	5
2.1.2.1. Classe 1 – Matérias e objetos explosivos	7
2.1.2.2. Classe 2 – Gases	8
2.1.2.3. Classe 3 – Líquidos Inflamáveis	9
2.1.2.4. Classe 4.1 – Matérias sólidas inflamáveis, matérias auto-reativas e matérias sólidas explosivas dessensibilizadas	10
2.1.2.5. Classe 4.2 – Matérias sujeitas a inflamação espontânea	10
2.1.2.6. Classe 4.3 – Matérias que, em contacto com a água, libertam gases inflamáveis	11
2.1.2.7. Classe 5.1 – Matérias comburentes	11
2.1.2.8. Classe 5.2 – Peróxidos orgânicos	11
2.1.2.9. Classe 6.1 – Matérias Tóxicas	11
2.1.2.10. Classe 6.2 – Matérias infecciosas	12
2.1.2.11. Classe 7 – Matérias radioativas	12
2.1.2.12. Classe 8 – Matérias corrosivas	12
2.1.2.13. Classe 9 – Matérias e objetos perigosos diversos	13
2.2. RISCOS E FENÓMENOS ASSOCIADOS ÀS MP	13
2.2.5.1. Efeitos tóxicos	19
2.2.5.2. Efeitos térmicos	20
2.2.5.3. Efeitos de sobrepressão	22
2.2.5.4. Projeção de fragmentos	23
2.2.5.5. Efeito dominó	23
2.3. MARCOS HISTÓRICOS E EVOLUÇÃO NA REGULAMENTAÇÃO	24
2.4. GESTÃO OPERACIONAL E DE EMERGÊNCIA NUM ACIDENTE COM MP	38
2.5. SÍNTESE E CONCLUSÕES	43
CAPÍTULO 3 – TRANSPORTE DE MATÉRIAS PERIGOSAS	45
3.1. ESTATÍSTICAS DO TRANSPORTE	45
3.2. REGULAMENTAÇÃO DO TRANSPORTE DE MP	54
3.2.1.1. Constituição do ADR/RID	56
3.3. SÍNTESE DO CAPÍTULO	67
CAPÍTULO 4 – PROBLEMA INVESTIGADO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO	69

4.1. PROBLEMA SOB INVESTIGAÇÃO	69
4.2. CARACTERIZAÇÃO DO CONCELHO DE MATOSINHOS	70
4.2.1.1. Enquadramento Geográfico	70
4.2.1.2. Relevo	71
4.2.1.3. Hidrografia	72
4.2.1.4. Ocupação do Solo	73
4.2.1.5. Clima	74
4.2.2.1. População	76
4.2.2.2. Atividades económicas, redes e infraestruturas	78
4.3. CARACTERIZAÇÃO DA LINHA DE LEIXÕES	80
4.4. SISTEMA DE PROTEÇÃO CIVIL	86
4.4.3.1. Proteção Civil em Matosinhos	90
4.5. SÍNTESE DO CAPÍTULO	92
CAPÍTULO 5 – MODELAÇÃO DE CENÁRIOS DE ACIDENTES NA LINHA DE LEIXÕES	95
5.1. INTRODUÇÃO	95
5.2. METODOLOGIA	95
5.3. CONCRETIZAÇÃO DAS MODELAÇÕES	97
5.4. AVALIAÇÃO DOS ELEMENTOS EXPOSTOS E ÁREAS POTENCIALMENTE AFETADAS	110
5.5. RESULTADOS	111
5.6. DISCUSSÃO	126
5.7. SÍNTESE DO CAPÍTULO	138
CAPÍTULO 6 – SÍNTESE E CONCLUSÕES	141
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	145
ANEXOS	163
ANEXO A – ROSAS DOS VENTOS	163
ANEXO B – FREQUÊNCIAS DE VELOCIDADE DO VENTO	188
ANEXO C – FOLHAS RESUMOS DE MODELAÇÕES (<i>ALOHA</i>)	200
ANEXO D – ZONAS DE AMEAÇA (<i>POOL FIRE</i>)	248
EDIFICADO	248
POPULAÇÃO	273
ANEXO E – ZONAS DE AMEAÇA (<i>BLEVE</i>)	298
EDIFICADO	298
PESSOAS	323
ANEXO F – ZONAS DE AMEAÇA (<i>NUVENS TÓXICAS</i>)	348

Siglas e Abreviaturas

ADR	Acordo Internacional relativo ao transporte rodoviário de mercadorias perigosas
AE	Autoestrada
AEGL	<i>Acute Exposure Guideline Levels</i>
AgPA	Agência Portuguesa do Ambiente
AMN	Autoridade Marítima Nacional
AMP	Área Metropolitana do Porto
ANAC	Autoridade Nacional da Avaliação Nacional
ANEPC	Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil
ANPC	Autoridade Nacional de Proteção Civil
ATEX	Atmosferas explosivas
ATRIG	Autoridade Técnica de Riscos Industriais Graves
AZF	<i>Azote de France</i>
BGRI	Base Geográfica de Referenciação da Informação
BLEVE	<i>Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion</i>
BMIIB	<i>Buncefield Major Incident Investigation Board</i>
CB	Corpos de Bombeiros
CBV	Corpo de Bombeiros Voluntários
CCO	Centro de Coordenação Operacional
CCOHS	<i>Canadian Centre for Occupation Health and Safety</i>
CDC	<i>Center for Disease Control and Prevention</i>
CDOS	Comando Distrital de Operações de Socorro
CEM	Central de Emergência de Matosinhos
CGEM	Contentores de gás de elementos múltiplos
CMM	Câmara Municipal de Matosinhos
CMOS	Centro Municipal de Operações de Socorro
CoPRAG	Comissão Consultiva para a Prevenção e Controlo de Riscos de Acidentes Graves
COS	Comandante das Operações de Socorro
CPC	Central da Proteção Civil
CVP	Cruz Vermelha Portuguesa
DCLG	<i>Department for Communities & Local Government</i>
DGA	Direção Geral do Ambiente
DON	Diretiva Operacional Nacional
DPC	Departamento de Proteção Civil
EAE	Estado de Alerta Especial

EEA	<i>European Environment Agency</i>
EN	Estrada Nacional
ENB	Escola Nacional de Bombeiros
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
EPI	Equipamentos de Proteção Individual
ERG	<i>Emergency Response Guidebook</i>
EUA	Estados Unidos da América
FEMA	<i>Federal Emergency Management Agency</i>
GE	Grupo de Embalagem
GNR	Guarda Nacional Republicana
GPL	Gás petróleo liquefeito
GSPC	Gabinete de Segurança e Proteção Civil
GTF	Gabinete Técnico Florestal
HMSO	<i>Her Majesty's Stationery Office</i>
HSE	<i>Health and Safety Executive</i>
IAEA	<i>International Atomic Energy Agency</i>
IATA	<i>International Air Transport Association</i>
ICAO	<i>International Civil Aviation Organization's</i>
ICMESA	<i>Industrie Chimiche Meda Società Azionaria</i>
IDLH	<i>Immediately Dangerous to Life and Health Limits</i>
IGA	Inspeção Geral do Ambiente
IGAMAOT	Inspeção Geral da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território
IMDG	<i>International Maritime Dangerous Goods Code</i>
IMT	Instituto da Mobilidade e Transporte
INE	Instituto Nacional de Estatística
INEM	Instituto Nacional de Emergência Médica
LOC	<i>Levels of Concern</i>
MIEMP	Manual de Intervenção em Emergências com Matérias Perigosas Químicas, Biológicas e Radiológicas
MP	Matéria Perigosa
NFPA	<i>National Fire Protection Association</i>
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
NRC	<i>National Research Council</i>
ONU	Organização das Nações Unidas
OPAS	<i>Organización Panamericana de La Salud</i>

OSHA	<i>Occupational Safety and Health Administration</i>
PEE	Plano de Emergência Externo
PEM	Postos de Emergência Médica
PM	Polícia Municipal
PM-AMN	Polícia Marítima
PN	Passagens de Nível
PPI	Planos Prévios de Intervenção
<i>ppm</i>	Partes por milhão
PSP	Polícia de Segurança Pública
PTN	Pressão e temperatura normais
RCI	Regime de Cantonamento Interpostos
RID	Regulamento relativo ao transporte ferroviário internacional de mercadorias perigosas
RPN	Regulamento de Passagens de Nível
SIG	Sistemas de Informação Geográfica
SIOPS	Sistema Integrado de Operações de Proteção e Socorro
SMGE	Sistema Municipal de Gestão de Emergência
SMPC	Serviço Municipal de Proteção Civil
SNPC	Serviço Nacional de Proteção Civil
TO	Teatro de Operações
UCC	<i>Union Carbide Corporation</i>
UE	União Europeia
UNCOE	Comité de Especialistas da ONU
UP	Unidade de Prevenção
URSS	União das Repúblicas Socialistas Soviéticas
VCE	<i>Vapor cloud explosion</i>
VILPL	Via Interna de Ligação ao Porto de Leixões
VMER	Viatura Médica de Emergência e Reanimação
WHO	<i>World Health Organization</i>
ZCP	Zonas de Concentração da População

Índice de Figuras

Figura 1. Número de acidentes tecnológicos reportados entre 1900 e 2019 Fonte: EM-DAT.....	25
Figura 2. Evolução e contextualização histórica da Diretiva Seveso Adaptado de Tavares (2011)	34
Figura 3. Delimitação das áreas potencialmente afetadas no acidente de Seveso Fonte: (Wilson, 1982)	40
Figura 4. Setorização inicial do teatro de operações segundo as diretrizes britânicas Fonte: (DCLG, 2012)	42
Figura 5. Transporte de matérias perigosas na União Europeia por método de transporte (2011 - 2019) Fonte: Eurostat, 2021	46
Figura 6. Distribuição percentual das matérias perigosas transportadas na UE entre 2011 e 2019, por classes de perigo Fonte: Eurostat, 2021	48
Figura 7. Transporte de matérias perigosas nos EUA (2012 e 2017) Fonte: US Department of Transportation; Bureau of Transportation Statistics; US Department of Commerce, Census Bureau, 2021	50
Figura 8. Distribuição percentual das matérias perigosas transportadas nos EUA em 2012 e 2017, em média, por classes de perigo Fonte: US Department of Transportation; Bureau of Transportation Statistics; US Department of Commerce, Census Bureau, 2021	51
Figura 9. Transporte de matérias perigosas em Portugal por método de transporte (2011 - 2019) Fonte: Eurostat, 2021	52
Figura 10. Distribuição percentual das matérias perigosas transportadas em Portugal entre 2011 e 2019, por classes de perigo Fonte: Eurostat, 2021	54
Figura 11. Países signatários do ADR Fonte: Rey Bellet, 2015	56
Figura 12. Exemplo de Etiquetas de Perigo (Classe 4.1, 4.2, 4.3) Fonte: ADR / RID	63
Figura 13. Etiqueta "Matéria perigosa para o ambiente" Fonte: ADR / RID	63
Figura 14. Etiqueta "Matéria transportada a quente" Fonte: ADR / RID	63
Figura 15. Exemplo de Painel Laranja Fonte: intervir.pt	64
Figura 16. Enquadramento geográfico de Matosinhos.....	70
Figura 17. Carta hipsométrica do município de Matosinhos	71
Figura 18. Carta hidrográfica do concelho de Matosinhos Fonte: PMEPC Matosinhos	72
Figura 19. Ocupação do solo em Matosinhos Fonte: PMEPC Matosinhos.....	73
Figura 20. Dados de Temperatura e Precipitação em Matosinhos (2010 - 2019) Fonte: Ogimet.com	74

Figura 21. Dados de temperatura e humidade relativa em Matosinhos (2010 – 2019) Fonte: Ogimet.com	75
Figura 22. Dados de fluxo solar e precipitação em Matosinhos (2010 - 2019) Fonte: Ogimet.com	75
Figura 23. Rosa dos Ventos em Matosinhos por alturas do dia e estações do ano Fonte: Ogimet.com	76
Figura 24. Evolução da população em Matosinhos (1970 - 2021) Fonte: INE.....	76
Figura 25. Densidade populacional no concelho de Matosinhos.....	77
Figura 26. Infraestruturas em Matosinhos	79
Figura 27. Edificado em Matosinhos.....	80
Figura 28. Passagens de nível na linha de Leixões	81
Figura 29. Quantidade de matérias perigosas transportadas (2011-2021) e número de transportes efetuados na Linha de Leixões (2017-2021) Fonte: SMPC Matosinhos	82
Figura 30. Distribuição mensal dos transportes de matérias perigosas na Linha de Leixões (2017-2020) Fonte: SMPC Matosinhos	83
Figura 31. Distribuição horária dos transportes de matérias perigosas na linha de Leixões (2017-2020) Fonte: SMPC Matosinhos	84
Figura 32. Distribuição percentual da quantidade de matérias perigosas transportadas por classes de perigo (2017-Ago21) Fonte: SMPC Matosinhos	85
Figura 33. Distribuição percentual da quantidade de matérias perigosas transportadas por classes de perigo (2020 - Ago21) Fonte: SMPC Matosinhos	86
Figura 34. Esquema representativo da estrutura da PC	89
Figura 35. Organização dos SMPC da Câmara Municipal de Matosinhos (CMM).....	90
Figura 36. Distribuição espacial dos APC no concelho de Matosinhos	92
Figura 37. Modelo Concetual.....	97
Figura 38. Passagem de nível na Travessa Bouça da Cal.....	99
Figura 39. Envolvente ao local do acidente Fonte: Google Earth.....	100
Figura 40. Exemplo de rosa dos ventos produzida	102
Figura 41. Exemplo de gráfico de frequências de velocidades do vento produzido.....	103
Figura 42. Representação esquemático da localização da fuga na cisterna	108
Figura 43. Zonas de ameaça para as populações provocadas pelos efeitos térmicos do pool fire	112
Figura 44. Raios das zonas de ameaça suscetíveis de afetar pessoas provocadas pelo pool fire..	113
Figura 45. Zonas de ameaça para o edificado provocadas pelos efeitos térmicos do pool fire	114
Figura 46. Raios das zonas de ameaça suscetíveis de afetar edificado provocadas pelo pool fire	115

Figura 47. Zonas de ameaça para as populações provocadas pelos efeitos térmicos do BLEVE ...	116
Figura 48. Raios das zonas de ameaça suscetíveis de afetar pessoas provocadas pelo BLEVE	117
Figura 49. Zonas de ameaça para o edificado provocadas pelos efeitos térmicos do BLEVE	118
Figura 50. Raios das zonas de ameaça suscetíveis de afetar edificado provocadas pelo BLEVE ...	119
Figura 51. Zonas de ameaça produzidas pela nuvem tóxica, por mês e altura do dia.....	121
Figura 52. Áreas em (km2) das zonas de ameaça	122
Figura 53. Concentrações do poluente a 100 metros da fuga Fonte: Aloha ®	126
Figura 54. APA e áreas a evacuar pelo MIEMP	130
Figura 55. Traçado da linha de Leixões na zona da Ponte do Carro (Guifões)	132
Figura 56. Zonas de proteção definidas pelo MIEMP	137

Índice de Tabelas

Tabela 1. Classes de Matérias Perigosas Fonte: ONU (2019)	7
Tabela 2. Efeitos fisiológicos da radiação térmica por intensidade e duração da exposição Fonte: Buettner, 1951; Zawistowski et al., 1977)	21
Tabela 3. Impactes em edifícios e equipamentos da radiação térmica por intensidades Fonte: Li et al., 2019)	21
Tabela 4. Impactes em seres humanos e edifícios da sobrepressão Fonte: Lees, 1996	22
Tabela 5. Lista de acidentes graves envolvendo matérias perigosas em todo o mundo Fonte: UCL - CRED, 2021.....	26
Tabela 6. Lista de acidentes graves em Portugal envolvendo matérias perigosas Fonte: UCL - CRED, 2021	27
Tabela 7. Dados meteorológicos utilizados nas modelações, por mês e horário Fonte: ogimet.com	104
Tabela 8. Classes de estabilidade atmosférica segundo a metodologia Pasquill-Gifford	105
Tabela 9. Relação entre coberto de nuvens e radiação solar e precipitação.....	106
Tabela 10. Determinação da classe de estabilidade atmosférica através da metodologia Pasquill-Gifford.....	107
Tabela 11. Quadro resumo de modelação em Aloha.....	109
Tabela 12. Valores padrão do Aloha de intensidade de radiação térmica e consequência no ser humano.....	110
Tabela 13. Valores de intensidade de radiação térmica e impacte nos edifícios	110
Tabela 14. Valores padrão do Aloha de concentração em ppm e consequências no ser humano.....	111
Tabela 15. Número de pessoas afetadas pelos efeitos térmicos do pool fire	114
Tabela 16. Número de edifícios afetados pelos efeitos térmicos do pool fire.....	115
Tabela 17. Número de pessoas afetados pelos efeitos térmicos do BLEVE.....	117
Tabela 18. Número de edifícios afetados pelos efeitos térmicos do BLEVE	119
Tabela 19. Áreas potencialmente afetadas e características das nuvens tóxicas.....	124
Tabela 20. Número de pessoas afetadas pelos efeitos das nuvens tóxicas.....	125
Tabela 21. Áreas a evacuar pelo MIEMP.....	128
Tabela 22. Valores de intensidade de radiação térmica (em kW/m ²) nas áreas de segurança Fonte: Aloha	128
Tabela 23. Distâncias a assegurar em relação à fonte por parte dos operacionais	132
Tabela 24. Distâncias e áreas a proteger Fonte: MIEMP.....	136

Capítulo 1 – Introdução

A presente dissertação insere-se na unidade curricular Dissertação / Projeto do Mestrado de Proteção Civil da Faculdade de Ciências Naturais, Engenharias e Tecnologias da Universidade Lusófona do Porto.

1.1. Enquadramento

O estilo de vida das sociedades contemporâneas, assente em constantes avanços tecnológicos e na industrialização massiva, acarreta um fator dinâmico e diversificado no que aos riscos coletivos diz respeito (Queirós, 2009). Os riscos tecnológicos são, porém, a classe de riscos coletivos que mais se tem diversificado e de uma forma mais rápida. Nesse contexto, os acidentes associados ao transporte, armazenamento e manuseamento de substâncias perigosas têm uma importância especial por poderem causar danos em maior escala, expondo as comunidades a eventos potencialmente fatais e extremos (Smith, 2013).

Alguns acidentes em infraestruturas fixas, como os de Seveso, em Itália, ou de Bhopal, na Índia, demonstraram o seu potencial de destruição, com efeitos agravados, nomeadamente, pela proximidade de zonas densamente povoadas, por condições meteorológicas propícias à propagação de nuvens tóxicas, falhas nos sistemas de gestão de segurança ou, mesmo, atrasos e descoordenação nas manobras de socorro e proteção das populações (Sambeth, 1983; Khan & Abbasi, 1999; Cozzani *et al.*, 2006).

Por outro lado, Oggero *et al.* afirma que também não devem ser descurados acidentes que ocorram durante o transporte dessas mesmas matérias perigosas, porque, embora em menor dimensão, têm igualmente um potencial destrutivo intrínseco, com a possibilidade de se concretizarem *off-site*, acrescentam ao risco uma dimensão espacial distinta em relação às infraestruturas fixas (2006).

Como consequência e tendo como objetivo o planeamento e a preparação dos meios e recursos para atuar numa situação de emergência deste tipo, Alexander (2002, 2015) refere que é necessário identificar previamente os eventos passíveis de ocorrer, prevendo os seus efeitos, no tempo e no espaço, bem como as suas consequências para pessoas e bens.

Em Portugal, o histórico de acidentes graves com matérias perigosas em trânsito é reduzido e possui uma fraca expressão na realidade da proteção e socorro nacional. São ainda mais invulgares as ocorrências em ambientes ferroviários, sendo este um verdadeiro cisne negro na ótica nacional (Aven, 2013). Nesse sentido, como em qualquer outra questão no âmbito da proteção civil, justificam-se várias perguntas habituais: estamos preparados? Num país em que o paradigma da

proteção civil se centra, excessivamente, nos incêndios rurais, estará o dispositivo de proteção e socorro pronto para fazer face a acidentes de maior gravidade de natureza tecnológica? Face ao número reduzido de ocorrências de acidentes com matérias perigosas e, consequentemente, à reduzida experiência dos operacionais neste âmbito? Garantir-se-á uma correta organização do socorro e gestão da emergência, sendo que, em determinadas circunstâncias, os próprios meios podem ser afetados pelos eventos, tornando a sua resposta diminuída ou resultando, em último caso, na inoperacionalidade dos mesmos? Não se colocando em prática, muitas vezes, as diretrizes operacionais no âmbito dos acidentes com matérias perigosas, serão conhecidas as suas vulnerabilidades ou fragilidades? Serão as mesmas adequadas?

Pretende-se, com a presente dissertação, avaliar os potenciais impactos de um acidente com matérias perigosas, através da modelação sistemática de cenários de acidentes. Dependendo dos resultados obtidos pretende-se ainda discutir a adequabilidade das atuais diretrizes operacionais, bem como, identificar as suas vulnerabilidades locais no planeamento e na gestão de emergência e, assim, compreender a preparação do sistema de proteção e socorro para fazer face a um fenómeno desta natureza.

1.2. Objetivos

A presente dissertação tem como principal objetivo estudar as condicionantes e fatores que podem influenciar o desenvolvimento de duas tipologias de acidente com matérias perigosas numa infraestrutura de transporte ferroviário (linha de Leixões, no concelho de Matosinhos - Portugal), assim como avaliar os danos provocados pelos mesmos e as ilações que possam ter para a gestão operacional e de emergência em contexto de socorro. Dentro dele, constituem-se como objetivos específicos os seguintes:

- A discussão da importância do conhecimento prévio dos efeitos de um acidente no ato do planeamento e gestão de emergência;
- A avaliação da magnitude dos danos provocados por acidentes com matérias perigosas, para se compreender a dimensão de emergências desta natureza;
- A identificação de ferramentas úteis para o apoio à decisão e à gestão de emergência, bem como as limitações das mesmas e dificuldades associadas ao seu uso;
- A averiguação da adequação das diretrizes operacionais existentes no âmbito da gestão de emergências com matérias perigosas.

1.3. Metodologia

Para a realização da presente dissertação será realizado, primariamente, uma análise acerca dos fenómenos passíveis de ocorrerem em caso de acidente envolvendo matérias perigosas, compreendendo os seus efeitos e consequências. De seguida, realizar-se-á um estudo das características locais do território em estudo, no caso, Matosinhos, e da infraestrutura de transporte em causa, a linha de Leixões. De seguida, aplicando os conhecimentos adquiridos na fase anterior, proceder-se-á à modelação sistemática de acidentes através de um *software* de modelação, o *Aloha®* e, através do método “*Areal weighing*” à avaliação dos potenciais danos causados nas pessoas e edificado, a fim de compreender a extensão de uma emergência desta natureza. Por fim, far-se-á uma interpretação das atuais diretrizes operacionais da ANEPC para acidentes com matérias perigosas, à luz dos resultados obtidos nas modelações.

1.4. Estrutura

A presente dissertação, na prossecução dos objetivos acima definidos, será dividida em 6 capítulos, sendo compostos pelos seguintes conteúdos, de forma resumida:

- **Capítulo I – Introdução:** Enquadramento da problemática e definição de objetivos.
- **Capítulo II – Estado da Arte:** Caracterização das matérias perigosas e respetivos efeitos em caso de acidente, acompanhado pela evolução legislativa e operacional no quadro de gestão de riscos e de emergência.
- **Capítulo III – Transporte de Matérias Perigosas:** Posicionamento do transporte de matérias perigosas no panorama americano, europeu e nacional. Enquadramento legislativo no âmbito do transporte terrestre de matérias perigosas.
- **Capítulo IV – Problema investigado e caracterização da área em estudo:** Definição da problemática em estudo e caracterização da área geográfica, da infraestrutura ferroviária em questão bem como os transportes de matérias perigosas na mesma;
- **Capítulo V – Modelação de cenários de acidentes na linha de Leixões:** Modelação sistemática de cenários de acidentes e avaliação dos elementos potencialmente expostos. Comparação dos resultados com as orientações operacionais existentes;
- **Capítulo VI – Síntese e Conclusões.**

Capítulo 2 – Estado da Arte

Os acidentes com matérias perigosas são eventos potencialmente nefastos para o ser humano, bens e meio ambiente que, em virtude do desenvolvimento das sociedades, se têm acentuado nas últimas décadas. A multiplicidade e a diversidade de substâncias desta natureza obrigam a um estudo das suas principais características e riscos associados para se conhecerem, previamente, os mais importantes efeitos e consequências em cenários de acidente que envolvam as mesmas. Nesse sentido, neste capítulo, será abordado, primeiramente, o conceito e a classificação das matérias perigosas e os principais fenómenos e riscos expectáveis em caso de acidente, e, posteriormente, as principais aprendizagens recolhidas para o domínio da proteção e socorro e gestão de emergência, decorrentes de grandes acidentes envolvendo matérias perigosas outrora ocorridos.

2.1. Matérias Perigosas

2.1.1. Conceito

O conceito de matéria perigosa (MP) pode ser difícil de entender. Existem milhares de substâncias e matérias que podem ser classificados como sendo perigosas. Acresce ainda o facto de alguns desses materiais poderem não ser considerados perigosos no seu estado normal, mas assumirem essa característica quando são usados e se tornarem resíduos.

Uma das primeiras propostas para definição de conceito de MP surge com Bierlein na década de 1980, que se refere às mesmas como “substâncias ou materiais capazes de representar um risco despropositado para a saúde, segurança e propriedades quando transportadas para comércio” (1987). Ao longo do tempo, outras definições foram sendo avançadas e sugeridas, como aconteceu com Santos e Neves (2005) ou com Jaffin (2020). No caso dos primeiros autores, MP pode ser definida como “qualquer substância (matéria-prima, produto, subproduto, resíduo ou produto intermédio) que, pelas suas características ou propriedades possa causar danos à saúde humana, aos animais ou ao ambiente” (2005). Mais recentemente, Jaffin caracterizou MP como sendo qualquer substância que tenha o potencial de causar danos às pessoas ou ao meio ambiente (fauna, flora, linha de águas, se derramada sem controlo) (2020).

De uma certa forma, as definições anteriormente propostas convergem no sentido de as MP se constituírem como substâncias que possam causar danos às pessoas, bens e meio ambiente, pilares da Proteção Civil, tal como preconizado na Lei de Bases de Proteção Civil (Lei n.º 27/2006, na sua atual redação) (Assembleia da República, 2006). Todavia, estas definições podem sofrer adaptações mediante o contexto em que se inserem. A título de exemplo, no Acordo Internacional sobre o

Transporte de Mercadorias Perigosas (ADR) ou no Regulamento Relativo ao Transporte Ferroviário Internacional de Mercadorias Perigosas (RID), uma mercadoria perigosa é definida somente como constando de matérias e objetos “cujo transporte é proibido segundo o ADR/RID ou é autorizado apenas nas condições aí previstas” (Comissão Europeia, 2021). Por sua vez, num âmbito mais direcionado para a saúde e segurança ocupacional em contexto de trabalho, substância perigosa pode ser entendida como qualquer agente biológico, químico ou radiológico que possa causar doenças após a libertação no meio ambiente ou após exposição, ingestão ou inalação por parte dos trabalhadores, causando a morte, doenças, alterações comportamentais, mutações genéticas ou deformações fisiológicas nas pessoas afetadas ou nos seus descendentes de acordo com a *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA, 2021). A avaliação dos efeitos aqui direcionados para os trabalhadores de um dado local também é extensível à população em geral, sendo utilizados e definidos limites de exposição para o público de igual forma, como é o caso do *Acute Exposure Guideline Levels (AEGL)* ou *Immediately Dangerous to Life and Health Limits (IDLHs)* (NOAA, 2016).

No contexto do presente trabalho são adotadas as definições propostas por Santos e Neves e por Jaffin, anteriormente aclaradas, quando é invocado o termo de MP. Porém, na opinião do último autor subsiste a preocupação e a dificuldade em distinguir, com facilidade, uma substância perigosa de uma não perigosa. Jaffin refere que qualquer matéria poderá ser considerada perigosa se for derramada ou libertada num local errado ou não preparado para esse fim. Segundo o mesmo, água salgada, normalmente vista como sendo benigna, poderá ser considerada uma matéria perigosa. Jaffin dá como exemplo o derrame de água salgada num local de desova de peixes de água doce que causará, necessariamente, desequilíbrios no pH da água e com isso originar um desastre ambiental ou, pelo menos, um acidente com graves repercussões no equilíbrio daquele ecossistema. Nesse sentido, a água salgada poderá mesmo ser classificada como perigosa uma vez que poderá afetar, no caso, o ambiente (Jaffin, 2020).

Ainda assim, o contexto em que se inserirá o conceito de MP a utilizar no presente trabalho remeterá sempre para as substâncias que são classificadas como perigosas no âmbito de acordos internacionais como o ADR/RID ou a diretiva Seveso, isto é, matérias que intrinsecamente possam causar danos ao Homem e/ou ao ambiente pelas suas propriedades físico-químicas, nomeadamente, explosividade, inflamabilidade, ecotoxicidade, corrosividade ou radioatividade (Lucius *et al.* 1992; Patnaik, 2006; Assembleia da República, 2010; Parlamento Europeu & Conselho Europeu, 2012).

2.1.2. Classificação e tipos

As matérias ou substâncias perigosas podem constituir-se como químicos puros, mistura de substâncias ou resíduos (Muneenam, 2006). As propriedades intrinsecamente e potencialmente perigosas destas matérias permitem o seu agrupamento de uma forma aproximadamente homogénea em 9 classes distintas, segundo as orientações da Organização das Nações Unidas (ONU) para o transporte de mercadorias perigosas, tal como documenta a seguinte tabela (2019) (Ver Tabela 1):

Tabela 1. Classes de Matérias Perigosas / Fonte: ONU (2019)

Classe	Designação
1	Matérias e objetos explosivos
2	Gases
3	Líquidos inflamáveis
4.1	Matérias sólidas inflamáveis, matérias auto-reativas e matérias sólidas explosivas dessensibilizadas inflamáveis
4.2	Matérias sujeitas a inflamação espontânea
4.3	Matérias que, em contacto com a água, libertam gases inflamáveis
5.1	Matérias comburentes
5.2	Peróxidos orgânicos
6.1	Matérias tóxicas
6.2	Matérias infecciosas
7	Matérias radioativas
8	Matérias corrosivas
9	Matérias e objetos perigosos diversos

2.1.2.1. Classe 1 – Matérias e objetos explosivos

A classe 1 “Matérias e objetos explosivos” engloba um conjunto de matérias que têm capacidade para, com a aproximação e contacto com uma fonte de energia externa, provocar uma libertação rápida e violenta de gases e calor (explosão). Este tipo de substâncias é muito sensível a ações mecânicas como choques ou fricção, eletricidade estática e ainda a aumentos de temperatura (Talawar *et al.*, 2006). A classe 1 subdivide-se em 6 subclasses. A subclasse 1.1 diz respeito, essencialmente, a munições e a substâncias explosivas que deflagram em massa, sendo expectável que nestes casos, em situação de acidente, haja forte destruição nas áreas circundantes devido à projeção de estilhaços, fragmentos e onda de choque, segundo a Escola Nacional de

Bombeiros (ENB) e *Lisi et al.* (2014; 2015). A subclasse 1.2 é, em termos de características das matérias que engloba, muito aproximada à classe 1.1. Esta subclasse abrange também munições e substâncias explosivas que deflagram, embora não exira risco de explosão em massa, sendo esta a principal diferença relativamente à anterior subclasse (ENB, 2014). No entanto, a *National Fire Protection Administration (NFPA)* alerta para o facto de, em caso de desenvolvimento de incêndios na proximidade destas matérias, ocorrerem explosões com intervalos de tempo cada vez mais curtos (2018), sendo igualmente expectável que as áreas mais próximas sejam afetadas pela emissão de estilhaços e/ou fragmentos. No caso da subclasse 1.3 estas substâncias explodem quando existe uma grande formação de chamas e aumentos de temperatura substanciais junto das matérias em causa, existindo o perigo de desenvolvimento de incêndios de elevada intensidade tal como afirmam *Talawar et al.* (2006). As subclasse ou divisões 1.4 e 1.6 representam as subclasse de explosivos menos perigosas dado que englobam matérias ou substâncias muito menos sensíveis a fatores externos e cujos efeitos possíveis limitam-se aos artigos ou objetos em causa e nunca aos existentes nas proximidades (Santos & Neves, 2005). No entanto, a subclasse 1.5, apesar de abarcar matérias pouco sensíveis, iniciado o processo de incêndio, passa a existir um risco elevado de explosão em massa (*Talawar et al.*, 2006). Pode-se, portanto, deduzir que a nível de perigosidade, as subclasse 1.1 e 1.5 são as mais críticas em virtude do risco existente de explosão em massa.

2.1.2.2. Classe 2 – Gases

De acordo com *Ruder e Hanratty* (1990), gás é o estado físico de uma substância que, em condições normais de temperatura e pressão (PTN) (temperatura de 20°C e pressão normal de 101,3 kPa), é completamente gasoso, ou seja, não tem forma nem volume, mas que toma a forma e ocupa a totalidade do volume do espaço ou contentor que o contém. *Rowlinson* (1958) acrescenta ainda que são também considerados gases substâncias que à temperatura de 50°C possui uma pressão de vapor superior a 300kPa.

O vasto leque de tipos de gases requer que os mesmos sejam classificados de acordo com as suas propriedades químicas, físicas, quanto ao seu uso, mas, acima de tudo, com base no risco que apresentam durante o transporte. De forma a dar resposta a estas necessidades, a ONU, através do seu manual de recomendações para o transporte de matérias perigosas, estabeleceu que os gases se dividiam nas subclasse seguintes (2019):

- Subclasse 2.1: Gases inflamáveis;
- Subclasse 2.2: Gases não inflamáveis, não tóxicos;
- Subclasse 2.3: Gases tóxicos.

As substâncias da subclasse 2.1 aloca gases que, em condições PTN, são inflamáveis quando em mistura de 13% ou menos com o ar ou que apresentem uma faixa de inflamabilidade de 12 pontos percentuais, independentemente do limite inferior de inflamabilidade. A subclasse 2.2. compreende substâncias gasosas que são asfixiantes e que diluem ou substituem o oxigénio existente na atmosfera ou sejam oxidantes. Por último, os gases que compõem a subclasse 2.3, gases tóxicos, são substâncias que são reconhecidamente tóxicos ou corrosivos para pessoas ou supostamente tóxicos ou corrosivos por apresentarem um valor de CL_{50} igual ou inferior a 5.000/m³ (partes por milhão (ppm)).

Hála *et al.* (1967) chama, porém, à atenção, que a formação de atmosferas perigosas, como atmosferas inflamáveis ou tóxicas, poder-se-á dever à libertação de vapores contidos em líquidos à temperatura ambiente e não necessariamente de uma matéria que se encontre em estado gasoso. A formação de atmosferas perigosas acaba por ser o principal perigo desta classe de matérias perigosas, podendo dar origem, posteriormente, a incêndios, explosões ou nuvens tóxicas (Santos & Neves, 2005).

2.1.2.3. Classe 3 – Líquidos Inflamáveis

A classe 3 abarca líquidos, mistura de líquidos ou líquidos contendo sólidos em solução ou em suspensão que libertam vapor inflamável a temperaturas não superiores a 60,5°C ou 65,5°C, caso o ensaio seja de vaso fechado ou aberto, respetivamente, mas também as matérias líquidas e sólidas (no seu estado de fusão) em que o seu ponto de inflamação é superior a 60°C e que são transportadas a uma temperatura igual ou superior a esta temperatura (ONU, 2019a).

A *National Fire Protection Association* (NFPA), no âmbito desta tipologia de substâncias, cria duas ramificações, fazendo uma cisão entre os conceitos de líquido combustível e líquido inflamável. No código NFPA 30 os conceitos são distinguidos pelo valor de ponto de inflamação. Assim, de acordo com esta entidade norte-americana, as substâncias que apresentem o ponto de inflamação inferior a 38°C são considerados líquidos inflamáveis. Em contrapartida, as matérias cujo ponto de inflamação seja superior a esta temperatura são designados por líquidos combustíveis (NFPA, 2021). Os líquidos inflamáveis podem ainda ser subdivididos nas seguintes classes, segundo Phoon *et al.* (2014):

- **F:** Líquidos inflamáveis, sem perigo subsidiário e objetos que contenham essas matérias;
- **F1:** Líquidos inflamáveis com um ponto de inflamação inferior ou igual a 60°C;
- **F2:** Líquidos combustíveis, cujo ponto de inflamação é superior a 60°C, transportados a uma temperatura igual ou superior ao seu ponto de inflamação;

- **F3:** Objetos que contenham líquidos inflamáveis;
- **FT:** Líquidos inflamáveis, tóxicos;
- **FT1:** Líquidos muito inflamáveis, tóxicos;
- **FT2:** Pesticidas;
- **FC:** Líquidos inflamáveis, corrosivos;
- **D:** Líquidos explosivos dessensibilizados.

Estes combustíveis líquidos, em resultado da sua evaporação, libertam vapores combustíveis e que, em contacto com o ar, e dentro dos limites de inflamabilidade/explosividade, podem formar atmosferas inflamáveis ou explosivas. As características da combustão de líquidos inflamáveis, numa perspetiva de chamas, fumo e gases libertados, dependem sempre da substância envolvida (ENB, 2014).

2.1.2.4. Classe 4.1 – Matérias sólidas inflamáveis, matérias auto-reativas e matérias sólidas explosivas dessensibilizadas

A classe 4.1 abarca uma série de matérias perigosas, todas elas, no entanto, no estado sólido, como é o caso das matérias sólidas inflamáveis, sólidas inflamáveis tóxicas, sólidas inflamáveis corrosivas, auto-reativas e matérias explosivas dessensibilizadas sólidas (ONU, 2019). Em suma, as matérias e objetos sólidos inflamáveis dizem respeito a substâncias pulverulentas, granulares ou pastosas e que se podem inflamar pelo atrito (Santos & Neves, 2005). No caso das matérias sólidas auto-reativas, inclui-se neste âmbito matérias termicamente instáveis suscetíveis de sofrer uma decomposição fortemente exotérmica mesmo na reação de oxigénio ou ar atmosférico (Fisher & Goetz, 1993). Por fim, as matérias sólidas explosivas dessensibilizadas compreendem substâncias que são humidificadas em água ou álcool, ou, ainda, diluídas com outras matérias, a fim de eliminar as propriedades explosivas (Talawar *et al.*, 2006).

2.1.2.5. Classe 4.2 – Matérias sujeitas a inflamação espontânea

As matérias incluídas na classe 4.2 são substâncias, segundo a ENB (2014a), que podem inflamar-se espontaneamente mesmo em condições normais de transporte, englobando matérias pirofóricas e matérias e objetos suscetíveis de auto-aquecimento. As matérias e objetos suscetíveis de auto-aquecimento são suscetíveis de aumentar a sua temperatura, sem acréscimo de energia, necessitando somente de estar em contacto com o ar. No entanto, segundo *Ramírez et al.* (2010), estas matérias só podem inflamar-se em grandes quantidades e após um longo período de tempo. Por outro lado, as matérias pirofóricas são substâncias, incluindo misturas e solução que, em contrato com o ar, mesmo em pequenas quantidades, inflamam-se num intervalo de 5 minutos

(Haines *et al.*, 2017). À semelhança do que se verifica noutras classes, também estas matérias, para além da propriedade de inflamação espontânea, podem apresentar outros perigos como a toxicidade, corrosividade ou oxidação (ENB, 2014).

2.1.2.6. Classe 4.3 – Matérias que, em contacto com a água, libertam gases inflamáveis

As matérias pertencentes a esta classe representam um desafio acrescido aos meios de socorro porque libertam gases inflamáveis suscetíveis de formar misturas explosivas com o ar, bem como os objetos que contêm tais matérias (Fox, 1999; Janès *et al.*, 2012). Na perspetiva da ENB, isto representa um desafio uma vez que grande parte dos meios de socorro utilizam a água como agente extintor ou como meio de arrefecimento (ENB, 2014b).

2.1.2.7. Classe 5.1 – Matérias comburentes

As matérias comburentes, também denominadas por substâncias oxidantes, têm como elemento constituinte das suas moléculas o oxigénio, podendo, em certas circunstâncias, libertar esses átomos quando sujeitas a aumentos de temperatura e provocar ou favorecer a combustão de outras matérias, englobando também substâncias com outras propriedades perigosas como, por exemplo, tóxicas, corrosivas ou sujeitas a inflamação espontânea (Uehara & Nakajima, 1985; Santos & Neves, 2005).

2.1.2.8. Classe 5.2 – Peróxidos orgânicos

À semelhança das matérias inseridas na classe anterior, os peróxidos orgânicos também possuem como elemento constituinte das suas moléculas o oxigénio. No entanto, estas são termicamente instáveis e podem sofrer uma decomposição exotérmica auto-acelerada, podendo dar origem a decomposições explosivas e incêndios rápidos e intensos, reagindo violentamente quando interagem com outras substâncias (Duh *et al.*, 2008).

2.1.2.9. Classe 6.1 – Matérias Tóxicas

As matérias tóxicas constituem-se como uma das classes mais perigosas, podendo, em quantidade relativamente baixa, numa ação única e/ou de curta duração, prejudicar a saúde do homem ou causar a morte, por inalação, absorção cutânea ou ingestão, bem como causar danos irreversíveis em determinados ecossistemas. Por outro lado, a formação de nuvens tóxicas pode também ter efeitos prolongados no tempo, durando semanas ou meses, e atingir populações em larga escala (Rappaport, 1991; Fox, 1999). A perigosidade ou toxicidade é muito variável dentro do espectro das substâncias inseridas nesta classe, dependendo, claro está, da sua natureza. Para além

da toxicidade, as matérias inseridas nesta classe pode apresentar outro tipo de características associadas, igualmente perigosas e suscetíveis de causar danos, como, por exemplo, inflamabilidade, auto-aquecimento, reação violenta com água ou corrosividade (ENB, 2014b).

2.1.2.10. Classe 6.2 – Matérias infecciosas

Tal como as matérias tóxicas, as matérias infecciosas são de extrema sensibilidade e de elevado risco, sobretudo, no que à saúde humana diz respeito. Estas matérias contêm agentes patogénicos que podem ser definidos como microrganismos (incluindo bactérias, vírus, as rickettsias, parasitas e fungos) e outros agentes tais como os priões, que podem causar doenças ao Homem ou aos animais. Neste segmento de substâncias perigosas inserem-se matérias infecciosas para o Homem, apenas para os animais, resíduos hospitalares, amostras de diagnóstico ou matérias biológicas (Siegel *et al.*, 2007).

2.1.2.11. Classe 7 – Matérias radioativas

As substâncias radioativas são, de acordo com certos autores, das matérias perigosas mais temidas (Perko, 2014; Slovic, 2016). Muito se deverá, naturalmente, a acontecimentos passados tais como os acidentes de Chernobyl, em 1986, ou de Fukushima, em 2011. Em termos sumários, substâncias radioativas são elementos cujos átomos emitem radiação sob a forma de raios alfa, beta ou gama a partir dos núcleos mais instáveis, os radionuclídeos. A exposição a elementos radioativos pode provocar múltiplos efeitos na saúde humana, podendo dar origem a variados sintomas, doenças prolongadas e até problemas a níveis hereditários. Complementarmente, as matérias radioativas criam também vários desequilíbrios e alterações em espécies animais, vegetais e solo, de acordo com o *Center for Disease Control and Prevention (CDC)* e a *Environmental Protection Agency (EPA)* (2021; 2021). Esta classe organiza-se em três categorias distintas, I, II e III, que representam a intensidade das radiações emitidas pelas matérias em causa (Santos & Neves, 2005).

2.1.2.12. Classe 8 – Matérias corrosivas

A classe 8 abarca todas as matérias corrosivas, podendo estas ser definidas como matérias que pelas suas interações e ações químicas podem causar danos em tecidos vivos, nomeadamente, olhos, pele e vias respiratórias. Estas têm também a capacidade de gerar danos em materiais, equipamentos e no meio ambiente (Hall *et al.*, 2019). Skřínská *et al.* (2016), incluem nesta classe as matérias que formam uma matéria corrosiva líquida em presença de água ou que, na presença da humidade relativa natural do ar, produzem vapores ou neblinas corrosivas. Neste âmbito, inserem-

-se também substâncias que, para além de corrosivas, podem possuir outros perigos associados, tais como inflamabilidade, auto-aquecimento, reação violenta com a água, tóxicas ou matérias comburentes (Basketter, Holland, & York, sem data; ENB, 2014b).

A maior parte das matérias corrosivas são ácidos ou bases. São relativamente comuns os ácidos clorídrico, sulfúrico, nítrico, acético ou fluorídrico. Do lado das bases estão produtos como os hidróxidos de amónia, de potássio ou de sódio, na ótica do *Canadian Centre for Occupation Health and Safety* (CCOHS, 2008).

2.1.2.13. Classe 9 – Matérias e objetos perigosos diversos

A classe 9, matérias e objetos perigosos diversos, é um conjunto de substâncias muito mais difuso e lato relativamente às anteriores que apresentavam uma característica que as diferenciam de forma mais vincada. No caso, a classe 9 abarca todas as matérias que apresentem um perigo distinto dos que são abrangidos pelas outras classes, como (ONU, 2019):

- Matérias que, inaladas sob a forma de poeira fina, podem pôr em risco a saúde;
- Matérias e aparelhos que, em caso de incêndio, podem formar dioxinas;
- Matérias perigosas para o ambiente;
- Dispositivos de salvamento (ex: *airbags*)
- Matérias transportadas a quente;
- Matérias que apresentem outros riscos que não correspondam aos previamente enquadrados nas restantes classes.

2.2. Riscos e fenómenos associados às MP

Os acidentes que envolvem matérias perigosas podem resultar na ocorrência de fenómenos suscetíveis de causar danos a pessoas, bens ou meio ambiente, existindo a possibilidade de estes assumirem um carácter agudo ou prolongado quando se estendem temporalmente (Kennedy & Kirwan, 1998). Este tipo de acidentes podem ser classificados em dois grandes grupos na perspetiva de Khan e Abbasi (1999) e de Tixier *et al.* (2002), acidentes em instalações fixas e acidentes em transporte. Os acidentes em instalações fixas compreendem todos os eventos ocorridos no processo de manipulação ou produção das matérias e respetivo armazenamento no local, ao passo que os acidentes de transporte englobam os eventos ocorridos durante as ações de transporte, movimentação e as operações de carga e descarga (Khan & Abbasi, 1999; Ni *et al.*, 2020). Muitos dos acidentes graves com MP englobam matérias químicas conforme documenta Tavares (2011),

com a maioria a envolver matérias inflamáveis (69,4%), seguido pelas matérias tóxicas (29,5%) ou corrosivas (10,4%) (Vilchez *et al.*, 1995; Chara *et al.*, 2012).

O risco químico assume um especial protagonismo de entre todas as ameaças associadas a matérias perigosas, tais como, nuclear, biológica ou radiológica

Por norma, no que concerne ao risco químico, os efeitos de um acidente são mais imediatos e visíveis nos impactos causados nos elementos expostos existentes nesse local e nos espaços limítrofes, em comparação, com acidentes que envolvam, por exemplo, substâncias biológicas ou radiológicas, que se caracterizam mais como ocorrências que perduram no tempo, não obstante a possibilidade de eventos particulares que reflitam o contrário (Cozzani *et al.*, 2007; Tseng *et al.*, 2012).

As consequências decorrentes de um acidente grave envolvendo químicos devem-se a quatro principais fenómenos/acontecimentos que são, na leitura de Kirchsteiger (1997) e de Reis *et al.* (2020), a emissão accidental de compostos tóxicos ou inflamáveis para a atmosfera, incêndios (efeitos térmicos), explosão/sobrepresão e efeito dominó. A cada fenómeno está associada uma probabilidade e um ou mais efeitos, sendo cada um deles caracterizado por distintos níveis de intensidade (Ministère de l'Écologie & Ministère des Transports, de l'Équipement, 2005).

Torna-se, deste modo, importante compreender como se concretizam estes fenómenos e de que forma podem atingir os elementos expostos. Pretende-se, com os pontos seguintes, elucidar-se quanto a estas questões e compreender estes fenómenos.

2.2.1. Nuvens tóxicas e inflamáveis

A formação de nuvens tóxicas ou inflamáveis ocorre quando se verificam derrames ou fugas de líquidos voláteis ou gases em reservatórios fixos, móveis ou infraestruturas, decorrentes de ruturas catastróficas ou comprometimento dos mesmos, existindo libertação de substâncias perigosas para a atmosfera. Realce-se, porém, que a formação de nuvens tóxicas também se pode dever à combustão de determinados combustíveis (Gai *et al.*, 2017; Gai *et al.*, 2018).

A dispersão atmosférica de uma nuvem formada numa libertação accidental de uma substância perigosa, num processo que compreende a ausência de contenção da mesma até à diluição do poluente em concentrações abaixo de limiares perigosos, pode ser dividida em dois estágios distintos, na opinião de Webber *et al.* (2010): a formação da fonte e a dispersão atmosférica em si. A primeira fase inicia-se imediatamente após a libertação do poluente, quando o comportamento do mesmo é ainda dominado pelas condições em que o mesmo estava armazenado ou em que fluía. São importantes, nesse âmbito, as condições específicas do ponto onde ocorre a libertação, isto é, a geometria e a localização da fuga. A partir do momento em que a influência da fonte se

reduz, as condições atmosféricas passam a ter um papel fundamental na nuvem, controlando o seu comportamento (Webber *et al.*, 2010). Na ótica de Ivings *et al.* (2013), a definição da fonte é tão importante quanto a própria dispersão do poluente, uma vez que é necessário adequar o modelo de dispersão atmosférica às características e condicionantes da fonte e a sua envolvente.

No caso da dispersão atmosférica em si, esta acontece por difusão do produto, começando-se a diluir na atmosfera, e pelo transporte pelo vento, sendo este fenómeno designado por advecção. Simultaneamente, a dispersão também ocorre na perpendicular a esta direção em função da turbulência atmosférica, fator bastante importante a ter em conta (Casal, 2017a). Vão ser as variáveis meteorológicas como o vento (direção e velocidade), temperatura, humidade relativa do ar e a estabilidade atmosférica que condicionarão o comportamento das nuvens tóxicas ou inflamáveis, mas, também, outros aspetos como a topografia/rugosidade do solo, a existência de edificado e as características físico-químicas do produto libertado (Cox, 1980; Ulden, 1988; Britter, 1989).

A modelação computacional da dispersão atmosférica promoveu a criação de vários modelos, como o Gaussiano, por exemplo, que permitem prever o comportamento destas nuvens. Estes modelos não só possibilitam verificar a extensão geográfica da nuvem como também as concentrações do produto na atmosfera ao longo do espaço. Estas informações revelam-se como sendo de extrema importância para os processos de planeamento de emergência e gestão de risco uma vez que, conhecendo estes parâmetros, é possível migrar a informação para os possíveis impactos sobre o ser humano ou estruturas (Hansler *et al.*, 2013)

No caso das nuvens tóxicas, não é possível descrever todos os possíveis efeitos passíveis de se manifestarem tendo em conta, por um lado, a multiplicidade de substâncias tóxicas existentes e, por outro, as concentrações dos produtos num determinado ponto. Este último fator, associado à natureza da matéria bem como ao tempo de exposição, é que condicionará os efeitos que possam surgir nos seres humanos, na fauna e flora. Os efeitos nocivos resultantes da exposição podem, portanto, assumir múltiplas formas, desde logo, danos nos tecidos e outras modificações patológicas, lesões na pele, reações alérgicas, mazelas no sistema respiratório e alterações no sistema nervoso (Timbrell, 1989).

As nuvens inflamáveis, por sua vez, têm efeitos distintos das nuvens tóxicas. Apesar de os produtos em causa poderem também ser corrosivos e/ou tóxicos, estes possuem ainda a capacidade de entrarem em ignição. O maior risco associado a este fenómeno acaba por ser o perigo de inflamação destas massas de ar. Este perigo é dependente da dispersão atmosférica do produto derramado ou libertado, isto é, as concentrações da matéria que confira uma proporção

ar-combustível que se encontre entre os limites inferiores e superiores de inflamabilidade (Luketa-Hanlin, 2006).

Se esta condição se verificar, e caso haja fontes de ignição, pode ocorrer a combustão da nuvem de gás inflamável. Quando esta ocorre de forma lenta e progressiva, denominada por incêndio em nuvem ou *flash fire*, que usualmente ocorre em zonas não confinadas ou desobstruídas, o maior perigo reside nos efeitos térmicos da combustão e restringe-se, somente, à área ocupada pela porção inflamável da nuvem apenas (Bjerketvedt *et al.*, 1997).

A combustão dessa nuvem pode, também, dar origem a uma explosão que consiste na súbita libertação de energia atingindo uma velocidade de combustão suficiente para dar origem a uma onda de sobrepressão, também designada por *Vapor Cloud Explosion (VCE)* (Casal, 2017b).

2.2.2. Incêndio em poça

Um incêndio em poça ou *pool fire* pode ocorrer quando um líquido inflamável é derramado acidentalmente em terra ou água e, por força de uma fonte de ignição, entra em combustão. No caso dos líquidos inflamáveis, White e Gottuk (2008) afirmam ser necessário estabelecer a diferença entre o derramamento de combustível e a formação de poça e respetivo incêndio. No caso do *pool fire* este representa uma área conhecida, por exemplo, um contentor aberto, com um volume limitado de combustível. No caso do derramamento, este, segundo o mesmo autor, pode ser caracterizado por apresentar um fluxo contínuo ou instantâneo.

Estas poças desenvolvem-se até uma área e diâmetro máximos, até possuírem uma espessura mínima, de acordo com White e Gottuk (2008), de 1 cm. Após alcançar essa espessura, a poça permanece constante nesse parâmetro, em constante vaporização. Tal facto contribui para a diminuição da sua área de forma progressiva (Opschoor, 1980). Esta vaporização constante, em mistura com o ar atmosférico, formará, na envolvente da poça, uma atmosfera inflamável (possíveis de condições Atmosferas Explosivas (ATEX)) que poderá, por ação de uma fonte de energia (térmica, química ou mecânica) entrar em combustão. Na opinião de vários autores, o processo de combustão destes líquidos pode ser, caracterizado como a progressão da frente de chama através de vapores inflamáveis acima da superfície livre do líquido (Joulain, 1998; Quintiere, 1998; Quintiere & Grove, 1998; Koseki, 2000).

As propriedades físicas de um *pool fire* podem ser resumidas, na ótica de (Steinhaus *et al.*, 2007), pela sua geometria (diâmetro, profundidade, substrato), composição do combustível e condições de ventilação do espaço (vento ou ventilação forçada).

Zhao *et al.* (2018) investigaram a influência destes fatores no comportamento de um *pool fire* e concluíram, que em situações ao ar livre, o vento assume um papel muito importante. Os autores

defendem que o vento pode acelerar o processo de vaporização de determinados combustíveis, nomeadamente o gás petróleo liquefeito (GPL) e, no caso de já existir chama, afetar a sua inclinação, o que pode levar a uma mais forte vaporização conforme a chama está mais próxima da superfície da poça. Esta condicionante poderá ocasionar incêndios mais intensos, com uma produção de energia sob forma de radiação mais acentuada, mas mais curtos em termos de desenvolvimento temporal uma vez que a matéria combustível disponível para participar no processo de combustão se esgota mais rapidamente (Quintiere, 2007). Conforme já foi anteriormente apresentado, no ponto 2.2.1, o vento e a turbulência atmosférica também contribuem para uma maior ou menor diluição do combustível na atmosfera, permitindo uma mais fácil ou difícil combustão em resultado da concentração do produto derramado. Raj (2005) acrescenta ainda que o fluxo de radiação térmica possa também influenciar a turbulência atmosférica. Assim, numa primeira fase, o maior perigo associado à poça de combustível acaba por ser, na argumentação de Marková *et al.* (2020), a vaporização do líquido envolvido e a consequente formação de nuvem inflamável, possibilitando a ocorrência de um *flash fire*. Caso a poça e os vapores resultantes da mesma interajam com uma fonte de ignição, térmica, mecânica ou química, esta poderá então inflamar-se e dar origem a um *pool fire*, sendo que o maior perigo associado a este fenómeno acaba por ser a emissão de radiação térmica que atinja níveis prejudiciais para a saúde humana e infraestruturas. Naturalmente, associado ao incêndio, existe também o perigo de emissão de produtos tóxicos resultantes da combustão e, na opinião de Shebeko e Shebeko e Mishra (2015; 2016), a ocorrência de um *pool fire* pode também desdobrar-se numa explosão ou *Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion (BLEVE)* ou num efeito dominó/cascata.

2.2.3. BLEVE

Abbasi *et al.* (2010), considera o BLEVE como uma explosão do tipo físico. Contudo, devido às particularidades das causas de tais explosões, estas são classificadas separadamente das tradicionais explosões físicas de equipamentos em pressão de rutura. O BLEVE é um dos tipos de explosão mais onerosos (Genova *et al.*, 2008).

A ocorrência de BLEVE foi tipificada pela primeira vez como acidente em 1957 por J.B. Smith e por W.L. Walls da Factory Mutual Research Corporation (Walls, 1978, 1979).

Este fenómeno consiste na libertação repentina de um líquido ou um gás liquefeito após a rutura do tanque e que daí resulta a ocorrência de vaporização instantânea (CCPS, 2010). Para Walls (1978), o fenómeno de BLEVE pode ser definido como na rutura catastrófica de um reservatório em 2 ou mais componentes quando o líquido no seu interior se encontra a uma temperatura muito superior à sua temperatura de ebulição a condições PTN. Por sua vez, Birk e Cunningham (1994)

definiram BLEVE como uma libertação explosiva de vapor em expansão e líquido fervente quando um recipiente contendo um gás liquefeito sofre uma rutura catastrófica.

Para vários autores o fenómeno de BLEVE pode ser dividido em três classes distintas, são elas: BLEVE, *hot BLEVE* e *cold BLEVE* (Birk & Cunningham, 1996; Shaluf, 2007; Center for Chemical Process Safety, 2010).

O *cold BLEVE* poderá ocorrer em resultado de defeitos estruturais dos materiais ou que comprometam a integridade do próprio reservatório. Pode ainda ocorrer em resultado de um impacto no reservatório que armazena a matéria perigosa. Por sua vez, na ótica dos mesmos, o que distingue um BLEVE e um *hot BLEVE* reside na origem da ocorrência do fenómeno, isto é, se a explosão se dever a um grande e repentino aquecimento dá-se um *hot BLEVE*, caso o fenómeno ocorra pelo aquecimento progressivo do líquido, resultante de um incêndio, e o aumento subsequente da pressão interna do reservatório, o fenómeno é somente designado por BLEVE.

Segundo Casal *et al.* (2001), os principais efeitos resultantes da ocorrência de BLEVE e da consequente bola de fogo podem ser sintetizados na radiação térmica, mas, também, na onda de sobrepressão, e na projeção de fragmentos do próprio reservatório ou de outros elementos presentes nas proximidades.

Ao nível das bolas de fogo, estas são constituídas pelos químicos contidos no interior do reservatório que, quando a infraestrutura sofre a rutura, se pulveriza como um aerossol durante a explosão. Qualquer líquido remanescente que não entre na combustão da bola de fogo formará um incêndio do tipo *pool fire* (Joulain, 1998; Hu, 2017; Liu *et al.*, 2020).

Outro dos grandes riscos associados, não só aos BLEVE, mas a qualquer tipo de explosão, são as ondas de sobrepressão ou de choque. Como já referido, a sobrepressão é definida pela formação instantânea, após a explosão, de uma onda de pressão causada pela energia libertada pelo BLEVE. Esta propaga-se à velocidade do som de acordo com Santos (2009).

A onda de pressão diz respeito à compressão do ar envolvente à explosão e que progride em todas as direções, sendo mais intensa na proximidade da fonte, diminuindo à medida que se afasta da mesma (Cameron & Raman, 2005a, 2005b).

Por último, uma explosão incitada por um BLEVE pode provocar a fragmentação de vários elementos, entre os quais, os do próprio reservatório. Para Casal *et al.* (2001) e Zhang *et al.* (2016), os fragmentos resultantes podem-se dividir em dois tipos: projéteis primários e projéteis secundários. Os projéteis compostos por fragmentos do reservatório são classificados como primários, caso os projéteis digam respeito a fragmentos ou elementos de outros objetos existentes na envolvente são classificados como secundários.

2.2.4. Jet Fire

O fenómeno de *jet fire* ocorre quando um produto é libertado para a atmosfera sob pressão e, por ação de uma qualquer fonte de ignição, entra em combustão. Como o próprio nome indica, o *jet fire* compreende uma chama em jato e que se alimenta do produto que se encontra pressurizado no interior do reservatório em causa (Lu *et al.*, 2020). Uma vez mais, à semelhança dos restantes fenómenos anteriormente explanados afetos a incêndios, a radiação térmica acaba por ser a principal consequência. Estudos comprovam que a ocorrência de *jet fire*, devido à emissão de radiação térmica, compromete e danifica as paredes das infraestruturas onde o incêndio está a ocorrer, podendo levar à ocorrência de fenómenos mais nefastos como o BLEVE (Wang *et al.*, 2021).

Também como qualquer outro fenómeno com incêndio associado, outro dos perigos do *jet fire* acaba por ser a formação de nuvens tóxicas resultantes da combustão de substâncias perigosas e potenciais explosões secundárias que podem ocorrer nas proximidades ao reservatório em chamas (Chakrabarti & Parikh, 2012; Liu *et al.*, 2021).

2.2.5. Efeitos associados

Um acidente que envolva substâncias perigosas, tal como foi possível observar nos pontos anteriores, pode dar origem a uma multiplicidade de fenómenos que podem comprometer a saúde humana, bens e meio ambiente decorrente da exposição a agentes químicos tóxicos, corrosivos, entre outros, a radiação térmica, a ondas de sobrepressão ou à projeção de fragmentos.

De entre os vários efeitos possíveis de se verificarem numa ocorrência desta natureza, destacam-se os tóxicos, os térmicos, os de sobrepressão, a projeção de fragmentos e o efeito dominó.

2.2.5.1. Efeitos tóxicos

Todas as substâncias que interajam com um organismo vivo, quando em excesso, podem-se tornar tóxicas, conforme opinião do *National Research Council (NRC)* e de Mertz *et al.* (1989; 1993). Os efeitos tóxicos resultam da inalação, ingestão ou contacto, por via cutânea, de uma substância ou mistura perigosa que possua propriedades tóxicas após a ocorrência de uma fuga ou derrame ou após a sua decomposição quando entra em combustão ou interage com uma outra substância química. Segundo o *Ministère de l'Écologie e Ministère des Transports, de l'Équipement* (2005), a inalação é, por norma, o risco tóxico mais frequente e importante para os seres vivos expostos, o que se contrapõe à ingestão ou contacto cutâneo. No caso deste último, este risco assume particular importância em elementos mais diretamente expostos como é o caso de trabalhadores

de uma indústria que manipule esta tipologia de substâncias ou, em caso de acidente, as equipas de proteção e socorro.

Os efeitos fisiológicos, nos seres humanos, dependem de vários fatores, nomeadamente, na opinião de Damstra (2002), das propriedades físicas e químicas das substâncias envolvidas, da dose ou concentração ambiental, o tempo e o tipo de exposição (inalação, ingestão ou contacto cutâneo), entre outros. Na ótica de Binder (1989), os efeitos ou repercussões na saúde humana podem ser imediatos, tardios e atingirem, inclusive, gerações futuras. O autor inclui também nos danos anteriormente mencionados, os efeitos patológicos e psicológicos causados pelo *stress* pós-traumático, com maior incidência em situações de acidente grave ou catástrofe. Os efeitos, de acordo com a *Organización Panamericana de La Salud (OPAS)* (1998), podem também ser classificados sob o ponto de vista do sistema ou órgãos afetados. No caso, os efeitos da exposição a substâncias perigosas podem gerar efeitos cancerígenos, dermatológicos, teratogénicos, imunológicos, hepáticos, neurológicos, pulmonares ou outros. Para Carvalho *et al.* (2017) revela-se necessário, após o derrame ou libertação de uma substância perigosa, conhecer os efeitos tóxicos da mesma, para além, naturalmente, das quantidades libertadas e respetiva expansão territorial da sua nuvem.

Gobbato (1993) defende que o grau de toxicidade é determinado pela dose ou concentração, propriedades físicas e químicas do produto derramado e pelas características fisiológicas do indivíduo exposto. O mesmo acrescenta ainda que os efeitos diferem entre espécies.

Shreve e Austin (1984) bem como Silano (1985) alertam que os acidentes que envolvem matérias perigosas e nos quais se verifique a libertação ou derrame das mesmas, para além das consequências na saúde humana, espoletam um leque alargado de outras consequências como é o caso das ambientais. Na opinião de ambos, os acidentes químicos resultam igualmente na poluição do ambiente causando contaminação de solos, de lençóis freáticos, de massas de água, da atmosfera, incluindo, a par disso, danos em culturas e efeitos na biodiversidade dos locais atingidos. Em todo o caso, na ótica de Tseng *et al.* (2012), os danos no ambiente podem também ser agudos ou perdurarem anos ou décadas, causando estragos que podem revelar-se irreversíveis.

2.2.5.2. Efeitos térmicos

Os efeitos térmicos, ou radiação térmica, estão essencialmente relacionados com a ocorrência de incêndios ou explosões, como são caso o *pool fire*, *BLEVE*, *jet fire* ou *flash fire*, por exemplo. O maior risco associado para as pessoas está relacionado, essencialmente, com possibilidade de a

população exposta sofrer queimaduras, internas ou externas, de diversos graus (Crocker & Napier, 1986). A energia térmica pode-se propagar através de três mecanismos distintos

- Convecção;
- Radiação;
- Condução.

Vários investigadores desenvolveram uma série de testes com o objetivo de aferir quais os efeitos fisiológicos nos seres humanos quando expostos a níveis específicos de radiação térmica e tempo de exposição (Buettner, 1951; Zawistowski *et al.*, 1977). Estabeleceram-se os seguintes padrões de danos fisiológicos (Ver Tabela 2):

Tabela 2. Efeitos fisiológicos da radiação térmica por intensidade e duração da exposição | Fonte: Buettner, 1951; Zawistowski *et al.*, 1977)

Intensidade da radiação (kW/m ²)	Tempo de Exposição para dor grave (s)	Tempo de exposição para queimaduras de 2º grau (s)
1	115	663
2	45	187
4	18	57
6	11	30
8	7	20
10	5	14
12	4	11

Outros investigadores, mais recentemente, estabeleceram ligações entre os níveis específicos de radiação e os efeitos em estruturas e equipamentos e documentam-se na tabela seguinte (Ver Tabela 3) (Li *et al.*, 2019):

Tabela 3. Impactes em edifícios e equipamentos da radiação térmica por intensidades | Fonte: Li *et al.*, 2019)

Intensidade da radiação (kW/m ²)	Impactes em edifícios e equipamentos
4	Em 30 minutos, vidros partidos
12,5	Energia mínima para derretimento de plástico (com chama)
25	Energia mínima para queima de madeira sem chama, apenas com radiação
37,5	Todos os equipamentos são severamente danificados

2.2.5.3. Efeitos de sobrepressão

Os efeitos de sobrepressão resultam de uma onda de choque/pressão (deflagração ou detonação em função da velocidade de propagação da onda, a uma velocidade na ordem das ondas acústicas, 300 a 400 m/s) em consequência de uma explosão (Birk *et al.*, 2020)

Estas ondas de pressão ou choque podem ter como origem um explosivo, uma reação química violenta, uma combustão violenta de uma nuvem de gás ou poeiras (atmosferas ATEX) ou, ainda, a descompressão repentina de um gás em sobrepressão. Os efeitos de uma sobrepressão podem atingir múltiplos elementos, desde os seres vivos aos equipamentos e estruturas. A projeção de fragmentos, por exemplo, é uma consequência direta das ondas de sobrepressão na opinião de (Laboureur *et al.*, 2015; X. Li *et al.*, 2020). Uma vez mais, investigadores dedicaram-se ao estudo da estimativa dos efeitos das ondas de sobrepressão em humanos e em equipamentos/estruturas, estabelecendo relações de efeitos com níveis de pressão, conforme esclarece a tabela seguinte (Ver Tabela 4) (Lees, 1996):

Tabela 4. Impactes em seres humanos e edifícios da sobrepressão | Fonte: Lees, 1996

Sobrepressão (bar)	Danos expectáveis em seres humanos e estruturas
0,0020	Quebra ocasional de vidros de grandes janelas já sob <i>stress</i>
0,0027	Ruídos (143 dB)
0,0069	Quebra de pequenas janelas sob tensão
0,01	Pressão típica para quebra de vidros
0,02	Alguns danos em tetos de casas; 10% vidros partem
0,027	Dano estrutural menor limitado
0,034 – 0,069	Janelas partem; caixilharias sofrem danos
0,069 – 0,137	Painéis de metal corrugado falham e deformam; painéis de madeira deformam para o interior
0,137 – 0,55	Ferimentos leves a graves devido a lacerações na pele provocadas por projeção de vidro e outros fragmentos
0,138 – 0,206	Betão não armado ou paredes de blocos de betão estilhaçadas
0,165 – 0,841	Entre 1 a 90% de rutura de tímpanos da população exposta
0,207 – 0,276	Estruturas metálicas colapsam
0,345 – 0,483	Destruição quase total das habitações
0,483 – 0,552	Paredes de alvenaria quebram por cisalhamento ou flexão
0,689	Destruição total dos edifícios muito provável
1,069 – 1,999	Entre 1% a 99% de fatalidades na população exposta devido aos efeitos diretos da explosão

2.2.5.4. Projeção de fragmentos

A projeção de fragmentos é, conforme já fora mencionado, consequência direta dos efeitos de sobrepressão ou ondas de choque. Por outro lado, este fenómeno assume-se, na ótica de Cozzani *et al.* (2006; 2007), como a causa mais frequente do efeito dominó em acidentes industriais. Os cenários primários capazes de gerar este fenómeno de alastramento de fragmentos são os BLEVE, as explosões mecânicas e as explosões confinadas (Cozzani *et al.*, 2007). O número de fragmentos, o seu formato, dimensão e massa são, na maior parte das vezes, dependentes das características dos reservatórios ou elementos que sofrem a fragmentação (Cozzani *et al.*, 2006). No caso do raio de alastramento, este pode ser definido como a distância máxima de projeção de fragmentos do cenário primário de interesse e as distâncias de projeção estão dependentes da energia libertada aquando da explosão. Por todos estes motivos, a incerteza em volta das consequências da projeção de fragmentos é muito elevada, sendo, por essa razão, muito difícil modelar os seus possíveis efeitos.

2.2.5.5. Efeito dominó

O efeito dominó define-se como um acidente no qual um evento primário se propaga para o equipamento vizinho, desencadeando num ou mais eventos secundários para os equipamentos envolventes e que podem resultar em acidentes catastróficos em complexos de natureza química (Cozzani *et al.*, 2006). Estes acidentes secundários podem ser tão ou mais graves que os eventos primários na opinião do mesmo autor. O efeito dominó decorre de sequências acidentais as quais têm, pelo menos, três configurações comuns, nomeadamente:

- Cenário acidental primário que inicia a sequência acidental dominó;
- Propagação do evento primário devido a um “vetor de propagação” gerado pelos efeitos físicos do cenário primário, e que resulta no dano de, pelo menos, um equipamento secundário;
- Um ou mais eventos secundários (como fogo, explosão e fuga tóxica), envolvendo os equipamentos danificados.

Os vetores de propagação identificados são a radiação térmica e impacto de fogo (contacto direto), sobrepressão e projeção de fragmentos (Cozzani *et al.*, 2006). Estes autores apuraram que existe ambiguidade na análise da possibilidade de ocorrência de efeito dominó devido à existência de diferenças entre valores limite de vetores de propagação presentes na literatura e que podem ser causadas pela falta de informação relativa ao *design*, conceção e características dos equipamentos e na ambiguidade na definição da extensão do dano ou intensidade de perda para desencadear a propagação.

2.3. Marcos históricos e evolução na regulamentação

2.3.1. Principais acidentes

O desenvolvimento industrial proporciona prosperidade, altos padrões de vida e é considerado um fator chave na medida do progresso. Porém, tal como todas as atividades humanas físicas, as atividades industriais envolvem risco para as pessoas e para o meio ambiente. A produção, o armazenamento e o transporte de matérias perigosas são processos de vital importância económica para qualquer sociedade complexa e avançada tecnologicamente, sendo estas sempre associadas ao número de instalações ou quantidade de substâncias desta natureza movimentadas (Mannan, 2005; Guedes *et al.*, 2009; Lees, 2012). No entanto, esta modificação requer um processo de aprendizagem contínua para lidar com a ameaça constante de desastres tecnológicos gerados pelo desenvolvimento de novas e mais complexas realidades. Além disso, este processo de aprendizagem é frequentemente baseado no estudo de acidentes graves já ocorridos tal como na compilação e análise abrangente de dados dessas e outras ocorrências.

A história das atividades industriais (incluindo transporte e armazenamento) é repleta de acidentes graves. Desde a revolução industrial que inúmeros e gravosos acidentes industriais foram reportados, quase todos os anos, causando várias perdas humanas, materiais, ambientais, sociais e económicas (Carol *et al.*, 2002; Tavares *et al.*, 2010). Contudo, observa-se um aumento significativo de acidentes graves desde o início do século XX com um incremento importante a partir da década de 1970. A Figura 1 ilustra o total de ocorrências de acidentes tecnológicos, compreendendo acidentes em atividades industriais e transporte, reportados desde 1900 até 2020, em todo o mundo:

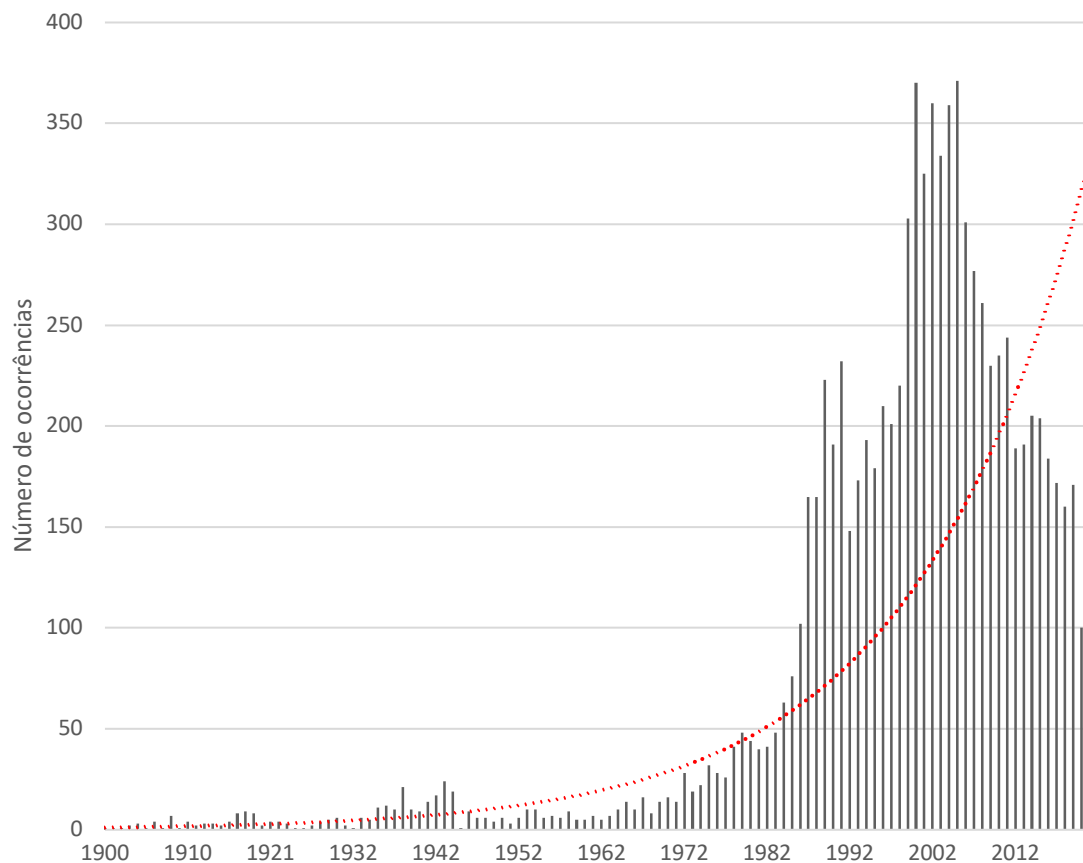


Figura 1. Número de acidentes tecnológicos reportados entre 1900 e 2019 | Fonte: EM-DAT

Os dados constantes da Figura 1 refletem a tendência anteriormente avançada bem como a ligação entre o número de ocorrências e o desenvolvimento das sociedades por todo o mundo. Denota-se um reporte pouco significativo de ocorrências entre 1900 e 1940 e um aumento significativo na década de 40, muito possivelmente devido à II Grande Guerra Mundial. Após esse período e até à década de 70, observou-se um novo período de decréscimo de acidentes participados, com um aumento significativo a partir desta altura. Ericson (2000) refere que este aumento exponencial se deve ao desenvolvimento das indústrias que, por conseguinte, trouxeram trabalhadores e fizeram aumentar a densidade populacional nas suas redondezas. Parte dos acidentes incluídos nos dados da Figura 1 tornaram-se conhecidos principalmente devido às suas consequências nas pessoas e no meio ambiente, tendo, muitos deles, envolvido matérias e substâncias perigosas, como referem a *European Environment Agency (EEA)* e *Lindberg et al. (2003; 2010)*.

A Tabela 5 compila alguns dos acidentes mais graves envolvendo matérias perigosas e que mais marcaram o mundo nas últimas décadas, destacando-se o tipo de acidente e o número estimado de vítimas mortais e feridos, com base em informações disponíveis na literatura e bases de dados (UCL CRED, 2021):

Tabela 5. Lista de acidentes graves envolvendo matérias perigosas em todo o mundo | Fonte: UCL - CRED, 2021

Ano	Localização	Produto envolvido	Tipo de Acidente	Vítimas mortais	Feridos
1947	Texas City, EUA	Químicos	Explosões	581	5.000
1957	Mayak, URSS	Nuclear	Explosão	200	8.000
1957	Windscale, GB	Nuclear	Incêndio	?	200
1974	Flixborough, GB	Ciclohexano	Explosão	28	89
1975	Beek, Países Baixos	Etileno	<i>Vapor Cloud Explosion</i>	14	109
1976	Seveso, Itália	Dioxina TCDD	Explosão e nuvem Tóxica	0	37.000
1977	Columbia, EUA	Amónia	Nuvem tóxica	30	22
1978	Los Alfaques, Espanha	Propileno	Incêndio e Explosão	216	200
1979	Mississauga, Canadá	Cloro	Incêndio e Explosão	-	218
1980	Danaciobasi, Turquia	Químicos	Desconhecido	107	0
1984	México City, México	Gás Liquefeito Pressurizado	Incêndio e Explosão	550	23
1984	Bhopal, Índia	Isocianeto de metil	Nuvem tóxica	22.000	?
1986	Chernobyl, URSS	Nuclear	Incêndio e explosão	60	?
1988	North Sea, GB	Crude e gás	Incêndio	167	0
1989	Acha Ufa, URSS	Gás	Explosão (<i>pipeline</i>)	575	0
1989	Pasadena EUA	Polietileno	Explosão	23	300
1991	Livorno, Itália	Nafta	Acidente em transporte	141	0
1996	Alberton, EUA	Químicos	Derrame (transporte em comboio)	1	300
2000	Enschede, Países Baixos	Explosivos (Pirotecnia)	Explosão	23	947
2001	Toulouse, França	Nitrato de amónio	Explosão	30	2.242
2004	Ghilenghien, Bélgica	Gás natural liquefeito	Explosão	24	131
2005	Texas City, EUA	Químicos	Explosão	15	170
2005	Buncefield, GB	Petróleo e derivados	Incêndio e explosão	0	43
2009	Viareggio, Itália	Gás petróleo liquefeito	Incêndio (transporte em comboio)	31	+30
2010	Ajka, Hungria	Resíduos de Alumina	Derrame	10	150
2011	Gongo la Mboto, Tanzânia	Explosivos (munições)	Explosão	27	1.500
2011	Abyane, Iémen	Explosivos (munições)	Explosão	70	90
2011	Dosquebradas, Colômbia	Gás natural	Explosão (<i>pipeline</i>)	19	166
2011	Nairobi, Quênia	Crude	Explosão (<i>pipeline</i>)	119	100
2011	Syrte, Líbia	<i>Fuel</i>	Explosão	100	50
2011	Tcheliabinsk, Rússia	Químicos	Derrame	-	100
2012	Codegua, Chile	Amoníaco	Derrame	1	120
2012	Brazzaville, Congo	Explosivos (munições)	Explosão	286	13.323
2012	Rivers State, Nigéria	Petróleo bruto	Explosão	100	37
2012	Map Ta Phut, Tailândia	Químicos	Incêndio	12	129
2012	Amuay, Bolívia	Crude	Explosão	48	80

Gestão operacional e de emergência num acidente com matérias perigosas: Caso de estudo da linha de Leixões

2013	Qingdao, China	Crude	Explosão (<i>pipeline</i>)	62	-
2013	México City, MX	Crude	Explosão	37	100
2013	Oaxaca	Crude	Derrame	9	1.540
2013	New Waco, EUA	Nitrato de amónio	Explosão	15	620
2013	Thanh Ba, Vietname	Explosivos (munições)	Explosão	24	4.512
2013	Lac-Magnatic, Canadá	Petróleo e derivados	Incêndio e Explosão	47	300
2014	Chitre, Panama	Nitratos	Derrame e Nuvem Tóxica	?	80.743
2015	Svatovo, Ucrânia	Explosivos (munições)	Incêndio e Explosão	4	3.136
2015	Aliso Canyon, EUA	Gás	Fuga	-	8.234
2015	Maridi, Sudão do Sul	Crude	Explosão	203	150
2016	Veracruz, México	Químicos	Explosão	32	100
2016	Tultepec, México	Explosivos (Pirtoecnia)	Explosão	42	72
2019	Tlahuelipan, Mexico	Óleos	Explosão	125	22
2019	Kom Kom, Nigéria	Gás	Explosão (<i>pipeline</i>)	70	-
2019	Yancheng, China	Químicos	Incêndio e Explosão	78	3.496
2020	Magdalena, Colômbia	Gasolina	Incêndio e Explosão	41	-
2020	Visakhapatnam, Índia	Gás	Fuga	11	316
2020	Tchardavol, Irão	Gás	Explosão	-	217
2020	Beirute, Líbano	Nitrato de Amónio	Explosão	200	7.000
2021	Agatu, Nigéria	Gasóleo	Derrame e Incêndio (transporte rodoviário)	12	250

Em Portugal, ocorreram já também alguns acidentes relevantes envolvendo matérias perigosas, conforme documenta a Tabela 6:

Tabela 6. Lista de acidentes graves em Portugal envolvendo matérias perigosas | Fonte: UCL - CRED, 2021

Ano	Localização	Produto envolvido	Tipo de Acidente	Vítimas mortais	Feridos
1975	Leixões, Matosinhos	Crude	Derrame e Incêndio	7	-
1988	Coimbra	Químicos	Derrame (transporte rodoviário)	-	-
1989	Lousada	Gasolina	Incêndio (transporte rodoviário)	-	7
1990	Barqueiros, Barcelos	Gasolina	Incêndio (transporte rodoviário)	1	-
1990	Lamego	Explosivos	Explosão	1	4
1990	Leça da Palmeira	Propano	Incêndio e Explosão	-	8
1992	Sacavém	Gás	Nuvem tóxica	0	75
1992	Creixomil, Guimarães	Explosivos (Pirotecnia)	Explosão	5	0
1993	Lisboa	Explosivos (Pirotecnia)	Explosão	1	4
1995	Lousada	Explosivos (Pirotecnia)	Explosão	3	3
1997	Fornos de Algodres	Explosivos (Pirotecnia)	Explosão	4	0
1997	Barreiro	Amoníaco	Incêndio e Explosão	0	0
1997	Lisboa	Explosivos (Pirotecnia)	Explosão	4	3
1998	Leça da Palmeira	Crude	Derrame e Incêndio	1	1
2000	Lanhela, Caminha	Explosivos (Pirotecnia)	Explosão	0	9

2001	Igreja	Explosivos (Pirotecnia)	Explosão	2	20
2001	Guimarães	Explosivos (Pirotecnia)	Explosão	6	1
2004	Leixões, Matosinhos	Crude	Incêndio e Explosão	0	32
2005	São Pedro do Sul	Explosivos (Pirotecnia)	Incêndio e Explosão	3	1
2006	Leça da Palmeira	Aromáticos	Incêndio e Explosão	0	2
2007	Leça da Palmeira	Aromáticos	Incêndio e Explosão	0	2
2008	Benavente	Nafta	Derrame	0	0
2008	Vila Franca de Xira	Jet A-1	Derrame e Incêndio	1	1
2010	Viseu	Explosivos (Pirotecnia)	Explosão	2	0
2010	Póvoa do Lanhoso	Explosivos (Pirotecnia)	Explosão	2	0
2011	Leça da Palmeira	Combustíveis	Incêndio e Explosão	0	0
2012	Monforte	Gás	Fuga e Incêndio em gasoduto	0	0
2012	Leixões, Matosinhos	Gás	Incêndio e Explosão	1	2
2016	Montijo	Gasóleo	Derrame	0	0
2017	Setúbal	Dióxido de Enxofre	Incêndio e Nuvem Tóxica	0	17
2017	Lamego	Explosivos (Pirotecnia)	Explosão	6	0
2017	Alenquer	JET A-1	Derrame	0	2
2020	Sines	Nitrato de cálcio	Incêndio	0	0

Acompanhando a tendência mundial de incremento das ocorrências relacionadas com riscos tecnológicos, os acidentes com matérias perigosas, analisando os dados das Tabela 5 e Tabela 6, têm sofrido um aumento significativo do seu número nas últimas décadas, tanto em ações de transporte, armazenamento como em instalações fixas (Oggero *et al.*, 2006). Este facto pode ser justificado pelo desenvolvimento das sociedades e consequentemente pelo aumento nos consumos que, por sua vez, levam ao aumento da produção, transporte, armazenamento e manuseamento deste tipo de substâncias (Thomson, 1998; Fabiano *et al.*, 2005) mas, por outro lado, também com o melhor acesso à informação sobre acidentes (Oggero *et al.*, 2006).

A nível mundial, observa-se que os primeiros grandes acidentes ocorreram em territórios europeus e norte americanos, entre as décadas de 50 e 70, com especial ênfase para os acidentes de Texas City, nos Estados Unidos da América (EUA), de Flixborough, em Inglaterra, e o de Seveso, em Itália. A década de 80 é marcada pelas ocorrências de Bhopal, na Índia, e a de Chernobyl, na antiga União das Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS), em território da atual Ucrânia, esta talvez a mais paradigmática ocorrência com matérias perigosas a nível mundial. A partir desse momento, a grande fatia das ocorrências a nível mundial deu-se em territórios asiáticos, africanos e sul americanos revelando, muito possivelmente, na opinião de Wilday *et al.* (2014), o impacto da introdução de regulamentação a nível europeu para o transporte, armazenamento e funcionamento de instalações fixas que manipulem matérias perigosas.

Por sua vez, a realidade nacional, vertida na Tabela 6, revela igualmente um acréscimo de ocorrências, sobretudo, a partir dos anos 90, embora, com realce para o acidente marítimo do petroleiro *Jakob Maersk*, em 1975, em Leixões (Matosinhos), que provocou um violento incêndio e um derrame de crude que afetou o porto local bem como as zonas balneares existentes na envolvente. Para além desta, são de especial destaque as ocorrências de 1990, 1998, 2006 e 2007 na Refinaria de Matosinhos, em Leça da Palmeira. Contudo, as mais graves, ocorreram em agosto de 2004 e em 2011, no terminal petrolífero do porto de Leixões, ambas em *pipelines* de transporte de hidrocarbonetos. No entanto, refira-se que a maioria das ocorrências registadas em solo nacional se devem a explosões em instalações de produção de artigos pirotécnicos, com o último grande acidente a ocorrer em Lamego, provocando 6 vítimas mortais.

2.3.2. Principais impactes dos acidentes e as suas repercussões

Um dos piores acidentes reportados, e que consta dos dados da Tabela 5, ocorreu em *Texas City*, nos EUA, na manhã do dia 16 de abril de 1947. Uma sucessão de incêndios catastróficos e explosões, destruíram por completo o complexo químico e a zona habitacional envolvente, começaram com um pequeno foco de incêndio em sacos de fertilizante de nitrato de amónio no portão de um navio de carga ancorado no complexo portuário local. O incêndio e as explosões consumiram, aproximadamente, 3250 toneladas de nitrato de amónio e 1800 toneladas de enxofre (Stephens, 1993). A contagem oficial apontou um total de 581 pessoas mortas (incluindo a totalidade do corpo de bombeiros de Texas City), cerca de 5000 feridos e 113 foram dadas como desaparecidas (Britannica, 2021).

Conforme já foi mencionado no ponto anterior, a década de 70 proporcionou um conjunto de vários acidentes graves, as quais provocaram múltiplas vítimas, prejuízos económicos e financeiros e, também, repercussões a nível social e ambiental. A explosão e o subsequente incêndio ocorridos no complexo petroquímico de Flixborough, em Inglaterra, no dia 1 de junho de 1974, despertou ainda mais a atenção pública, de uma forma generalizada, para as preocupações relativas à segurança das atividades industriais, solicitando uma maior regulamentação na indústria e normas de segurança mais apertadas (Mannan, 2005). De acordo com o *Her Majesty's. Stationery Office* (HMSO) (1975), na explosão morreram 28 pessoas e 89 ficaram feridas (36 trabalhadores e 53 fora do complexo). Na área envolvente ao complexo, mais concretamente, num raio de 1,6 km à volta do “*ground zero*”, cerca de 1800 edifícios foram afetados e danificados. Apesar do nível sério de destruição, o número de fatalidades foi relativamente reduzido uma vez que o acidente ocorreu a um sábado, com uma menor ocupação do complexo (HMSO, 1975).

As investigações pós acidente concluíram que a falha humana foi a causa da rotura que deu origem ao derrame e ignição de 40 toneladas de ciclohexano (Lees, 1996).

Este acidente impulsionou uma significativa melhoria nas operações e procedimentos de manutenção e nas listas de verificação a utilizar nas indústrias petroquímicas. Este evento é, por alguns autores, considerado como a génese para o desenvolvimento de novas políticas e regulamentos de segurança e exploração deste tipo de indústrias na União Europeia (UE) (Marshall, 1987; Høiset *et al.*, 2000).

Apesar dessas melhorias e das iniciativas para a regulamentação da atividade, dois anos mais tarde, a fuga de, sensivelmente, 30 quilos de uma dioxina¹, no dia 10 de junho de 1976, na *Industrie Chimiche Meda Società Azionaria (ICMESA)*, na localidade de Seveso em Itália, provocou uma nuvem tóxica que afetou de forma expressiva os habitantes daquela área bem como o meio ambiente. Aproximadamente 37000 indivíduos foram afetados direta ou indiretamente pela exposição à dioxina (Rice, 1982). Embora não tenha causado vítimas mortais no imediato, como nos eventos anteriormente descritos, os efeitos retardados e indiretos resultaram na morte de milhares de animais tendo sido, alguns deles, abatidos por forma a evitar mais impactos ao longo da cadeia alimentar. Os edifícios na envolvente foram demolidos e os seus residentes foram forçados a deixar a área. Na zona de Seveso, foram também removidas toneladas de terra dos solos por forma a descontaminar o mesmo (Wettig *et al.*, 1999).

Os efeitos fisiológicos tardios nos humanos assumiram, principalmente, a forma de queimaduras químicas e cloroacne, tendo, inclusive, sido suspensa, pelas autoridades de saúde italianas, e lei que proibia o aborto com receio dos possíveis efeitos que a exposição à dioxina podia causar nos fetos (Bertazzi *et al.*, 1998; Eskenazi *et al.*, 2018).

Contudo, para a indústria química mundial, a fuga de gás tóxico ocorrida em 1984, na cidade de Bhopal, na Índia, pode ser considerada como o pior dos acidentes graves com matérias perigosas outrora registado (Willey *et al.*, 2005).

Na madrugada de 3 de dezembro de 1984, uma cadeia descontrolada de reações químicas provocou a fuga de, aproximadamente, 45 toneladas de isocianeto de metil nas instalações da *Union Carbide Corporation (UCC)*, um complexo químico nos subúrbios da cidade. A nuvem de gás dispersou-se e atingiu uma zona densamente povoada de Bhopal com impactos imediatos nas pessoas que se encontravam nesses locais, causando a morte de muitas delas por asfixia e intoxicação, tendo sido relatados também casos de cegueira após a exposição ao produto (Shrivastava, 1992). O número de vítimas mortais foi estimado foi de 22000 compreendendo fatalidades imediatas e tardias (Broughton, 2005). Cerca de meio milhão de pessoas que

¹ Dioxina TCDD (2, 3, 7, 8 – Tetraclorodibenzo-paradioxina)

sobreviveram sofreram vários problemas de saúde causados pela exposição ao isocianeto de metil. Uma vez mais, a atenção e os *media* internacionais voltaram-se para a preocupação e os potenciais impactes da indústria que manipula matérias perigosas.

Na área da produção de energia elétrica são, também, vários os relatos de acidentes que envolveram matérias perigosas. Um dos mais mediáticos, será o de Chernobyl, no complexo nuclear, ocorrido em 1986 na URSS, atual Ucrânia. Este é considerado como um dos piores acidentes tecnológicos já registados, tendo atingindo o nível 7 (nível máximo) da Escala Internacional de Eventos Nucleares (Gunn, 2008).

Embora as causas concretas do acidente sejam alvo de discussão e incertas, acredita-se que uma série de incidentes levou à ocorrência de uma explosão seguida por um incêndio, causados por uma combinação de falhas no projeto do reator e erros dos operadores. A explosão resultou no colapso parcial do edifício e, consequentemente, na libertação de uma nuvem com cerca de 8 toneladas de material radioativo na atmosfera. O material libertado era transportado na forma de gás e partículas de poeira, principalmente, Césio-137, e atingiu múltiplas áreas da Ucrânia, Rússia e Bielorrússia (Bennet *et al.*, 2006). A extensão da dispersão e deposição da matéria radioativa atingiu, ainda, outros países como Áustria, Grécia ou Itália, conforme relatado pela *EEA* e pelo *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR)* (2003; 2008).

Após o acidente, o reator danificado foi lacrado num “sarcófago”, mantendo o outro em operação até novembro de 2000. Entre as principais vítimas diretas estão os intervenientes no acidente, como os bombeiros e operadores. Em meados de 2005, cerca de 60 vítimas mortais poderiam estar relacionadas diretamente a Chernobyl, entre as quais, trabalhadores que foram expostos à radiação durante o acidente e crianças que desenvolveram doenças como cancro da tiroide ou más formações congénitas (UNSCEAR, 2009).

O cancro da tiroide foi, de acordo com várias entidades, a consequência mais observada em crianças expostas à radiação. Em 2000, cerca de 2000 casos de cancro da tiroide foram relatados em indivíduos que foram expostos em crianças, sendo que o número duplicou no ano de 2005, referem a *World Health Organization (WHO)* e a *International Atomic Energy Agency (IAEA)* (2005; 2006). Uma última estimativa, para o ano de 2056, aponta para a ocorrência de 3400 a 72000 casos de cancro na tiroide nas regiões mais afetadas pela dispersão dos gases e poeiras radioativas (Cardis *et al.*, 2005). Os efeitos deste acidente não conheceram fronteiras nacionais e, mais de 20 anos após o acidente, as pessoas de países afetados ainda não tinham dados científicos precisos e claros nem conhecimento concreto sobre as consequências para a saúde, ambiente e tecido socioeconómico da tragédia de Chernobyl (Baverstock & Williams, 2007).

Entrando no século XXI, uma grande explosão na fábrica de fertilizantes *Azote de France* (AZF), localizado a 3 km da cidade francesa de Toulouse, em 21 de setembro de 2001, causou a destruição total do complexo industrial e vitimou 30 pessoas (21 no local e 9 fora das instalações industriais), causando ferimentos ainda a 2242 pessoas, muitos deles graves (Cahen, 2006).

O acidente provocou uma cratera na unidade da AZF e afetou ainda duas outras unidades industriais existentes nas proximidades.

Foram realizadas múltiplas investigações nos anos seguintes tentando estabelecer a cadeia de eventos que causou a explosão (Barthelemy *et al.*, 2001; Dechy *et al.*, 2004), no entanto, a explicação técnica oficial continua a ser desconhecida. De acordo com o inquérito judicial, a explosão foi causada por um erro humano Barthelemy *et al.* (2001).

No entanto, a AZF sugeriu que a explosão se deveu a um arco elétrico entre dois transformadores localizados fora do complexo (Dechy *et al.*, 2004).

Este acidente envolveu danos consideráveis na estrutura do complexo industrial, mas, também, na estrutura residencial e no sistema de distribuição de energia elétrica da região. Esta explosão foi um dos piores desastres industriais em França e o terceiro maior acidente químico após o acidente de Seveso, em 1976.

Em 2005, a 11 de dezembro, no depósito de combustível de Buncefield, em Inglaterra, ocorreu uma violenta explosão, e consequente incêndio, que causou ferimentos em 43 pessoas e causou múltiplos danos no complexo e na envolvente do mesmo, segundo o *Buncefield Major Incident Investigation Board (BMIIIB)* (2006).

Os complexos industriais locais bem como a população da área circundante foram evacuados, deixando cerca de 2000 pessoas deslocadas da sua residência (BMIIIB, 2008b). Os indícios iniciais da investigação apontaram para uma falha mecânica nos equipamentos de controlo que provocou um derrame de combustível de aviação, com posterior formação de nuvem inflamável, pois não detetaram que os tanques já se encontravam cheios (BMIIIB, 2006).

Um total de 20 tanques e edifícios foram envolvidos neste acidente. Não foram relatadas consequências ambientais dado que as águas residuais de combate ao incêndio foram contidas no complexo. No entanto, durante alguns dias após o acidente, a zona continuou interdita pois a nuvem de fumo gerado foi classificada como irritante e tóxica para o ser humano com base em medições tanto ao nível do ar como do solo (BMIIIB, 2008c). Após extensa investigação, o BMIIIB e o *Health and Safety Executive (HSE)* recomendaram mudanças no planeamento na ocupação do solo nas áreas envolventes a este tipo de indústrias, bem como adoção de padrões de segurança e salvaguarda ambiental mais rígidos (BMIIIB, 2008a; HSE, 2009).

Embora os acidentes mais mediáticos tenham sido reportados em instalações fixas, o setor do transporte também tem sido alvo de numerosos acidentes, alguns deles igualmente gravosos (Vílchez *et al.*, 1995b; Oggero *et al.*, 2006; Ronza, 2007; Ellis, 2011).

Um dos acidentes mais recentes e gravosos ocorreu a 29 de junho de 2009 na estação ferroviária de Viareggio, em Itália. Numa composição ferroviária com 14 vagões cisterna que transportavam GPL, um destes descarrilou e sofreu danos estruturais o que deu origem ao derrame. A matéria rapidamente evaporou e formou uma atmosfera inflamável que, posteriormente, deu origem a várias explosões e incêndios. A nuvem inflamável em questão não se estendeu de forma significativa espacialmente, tendo-se concentrado, sobretudo, junto aos vagões. Tal facto pode ser explicado pelas condições meteorológicas verificadas no local, com velocidades do vento baixas e grande estabilidade atmosférica.

No que diz respeito aos danos provocados pelo acidente de Viareggio, Manca *et al.* (2010) referem que um grande número de edifícios na envolvente da estação ferroviária foram afetados, alguns deles, com destruição total. As explosões e os incêndios subsequentes causaram também 31 vítimas mortais e mais de 30 pessoas ficaram gravemente feridas. As autoridades italianas evacuaram ainda mais de 1100 habitantes por razões de segurança, tanto pelos danos estruturais dos edifícios onde se encontravam como pelos efeitos produzidos pelo acidente, como as nuvens tóxicas produzidas pelos incêndios. As consequências e fatalidades do acidente teriam sido ainda maiores se o responsável pela estação não tivesse ordenado a paragem de dois comboios de passageiros que chegariam a Viareggio poucos minutos após o acidente. No que diz respeito a acidentes com matérias perigosas em trânsito, o acidente de Viareggio é considerado como pior na história italiana (Landucci *et al.*, 2011).

2.3.3. Regulamentação – Diretiva Seveso

Os acidentes graves ocorridos em Flixborough e Seveso, levaram a grandes discussões em toda a UE (particularmente ao nível do Conselho e Parlamento Europeus) promovidas pela preocupação, pelo medo e pela consciencialização coletiva de ação conjunta e multinacional para controlo dos perigos inerentes a este tipo de estabelecimentos e atividade (Arcuri, 2005).

A regulamentação também foi motivada pela vontade de promover políticas que protegessem mais o meio ambiente e melhorassem os mecanismos de gestão de uma crise desta natureza a fim de proteger de uma forma mais adequada as populações. Consequentemente, desde 1982, um conjunto de novos instrumentos regulatórios relativos à prevenção e controlo de acidentes envolvendo matérias perigosas foram adotados e continuamente atualizados, em particular a Diretiva 82/501/CEE, mais popularmente conhecida por Diretiva Seveso, em memória do acidente

ocorrido nessa localidade italiana em 1976. Esta diretiva foi aplicada em todos os países membros da UE e foi continuamente atualizada em virtude de aprendizagens com novos acidentes ocorridos como, por exemplo, os de Bhopal ou Toulouse. A Figura 2 ilustra a evolução cronológica do documento em função dos acidentes graves ocorridos, em Portugal e na Europa:

Ano	Europa	Portugal
1974	Acidente de Flixborough	Decreto-Lei nº 224/87
1975	Acidente de Beek	
1976	Acidente de Seveso	
1982	Diretiva Seveso I	
1984	Acidente de Bhopal	
1986	Acidente de Basileia	
1987	Adenda I (Baseada nos acidentes de Bhopal e Basileia)	
1988	Adenda II (Baseada no acidente de Basileia)	
1992	Convenção sobre os efeitos transfronteiriços de acidentes industriais	
1993		
1996	Diretiva Seveso II	Decreto-Lei nº204/93
2000	Acidente de Enschede	Decreto-Lei n.º 164/2001
2001	Acidente de Toulouse	
2003	Adenda III (Baseada no acidente de Toulouse)	
2006	Regulamento REACH	Decreto-Lei n.º 254/2007
2007		
2012	Diretiva Seveso III	Decreto-Lei nº150/2015
2015		

Figura 2. Evolução e contextualização histórica da Diretiva Seveso | Adaptado de Tavares (2011)

A Diretiva Seveso I incidiu principalmente na prevenção e controlo de grandes acidentes industriais, bem como a limitação das suas consequências para o Homem e meio ambiente. Pretendeu-se reduzir a origem e incidência deste risco, analisando as causas em caso de incidente ou acidente, fiscalizando os estabelecimentos e criando um sistema de prevenção de acidentes, garantindo a segurança interna e externa às instalações industriais. O documento também incluiu uma lista de 180 substâncias perigosas que obrigava aos operadores que as manipulassem, a partir de determinadas quantidades, a estarem abrangidos por esta diretiva.

Um aspeto chave desta diretiva era a obrigatoriedade da prestação, por parte dos operadores industriais, de informação sobre as medidas de segurança e sobre as medidas de autoproteção a adotar por parte das populações expostas em caso de acidente grave, algo que falhou, por exemplo, no acidente de Seveso. Eskenazi *et al.* (2018) referiram que, caso a informação ao público tivesse sido emitida após o acidente, ter-se-ia diminuído em grande medida o número de pessoas afetadas pois, segundo os mesmos, a retirada das populações apenas ocorreu a partir do 3º dia após o

acidente, levando a uma maior e mais prolongada exposição por parte das populações aos efeitos da toxina.

Assim sendo, a Diretiva atribuiu uma maior ênfase ao papel do operador ao invés do papel das autoridades, sendo as empresas responsáveis pela implementação das medidas necessárias para prevenção e limitação das consequências de um acidente, assente numa base comunicacional transparente. Apesar de a sua grande abrangência, Wettig e Porter (1999) relatam que o escopo principal desta Diretiva acaba por ser a proteção das pessoas e do meio ambiente.

Na sequência dos acidentes de Bhopal (1984) e Basileia (1986), a diretiva original foi alterada duas vezes pelas Diretivas 87/216/CEE e 88/610/CEE, em 1987 e 1998, respetivamente. Ambas as alterações tiveram por base o alargamento da lista de matérias perigosas e instalações a abranger pela diretiva, de forma a aumentar o seu âmbito. Também foram introduzidas alterações ao nível da informação pública e nos requisitos dos sistemas e instrumentos de segurança com o objetivo de maior transparência nas medidas adotadas.

Impulsionado por grandes revisões efetuadas após o 4º (1987) e 5º (1993) Programas de Ação Europeus sobre o meio ambiente, foi considerado necessário expandir a área de aplicação e aprimorar a criação de sistemas de gestão de segurança nestas atividades (Wettig *et al.*, 1999).

A revisão da diretiva original demonstrou que as modificações deviam dar origem a um novo documento ao invés de efetuar uma terceira adenda (Wettig & Porter, 1999).

O memorando produzido mencionou também que uma análise dos 130 acidentes graves, notificados entre 1982 e 1994, mostrou que cerca de 95% destes poderiam ter sido evitados pela aplicação dos conhecimentos existentes e procedimentos de gestão operacionais adequados (Walker, 1995).

Além disso, as alterações no sistema da classificação das substâncias perigosas a que a diretiva se refere, entre outras questões ou lacunas, realçaram a necessidade de adoção de uma diretiva inteiramente nova, surgindo a Diretiva 96/82/CE, também designada por Diretiva Seveso II. Esta diretiva foi adotada pelo Conselho da UE em dezembro de 1996 e os países membros tinham até fevereiro de 1999 para tornar as obrigações constantes da mesma obrigatórias para a indústria e para que as autoridades públicas as fizessem cumprir.

O âmbito principal da Diretiva Seveso II foi alargado e simplificado ao mesmo tempo, abrangendo tanto as atividades industriais como o armazenamento de materiais perigosos. Ao invés da lista estática de operadores, dependendo do nível de riscos potenciais, os estabelecimentos abrangidos pela diretiva passaram a ser classificados em dois níveis de perigosidade, nível superior e inferior. A Diretiva Seveso II passou também a abranger os estabelecimentos numa definição mais ampla, ou seja, *“toda a área sob o controlo de um operador*

onde os materiais perigosos estão presentes em uma ou mais instalações, incluindo infraestruturas ou atividades comuns ou relacionadas”, sem a necessidade de definir o termo atividade industrial. Ao mesmo tempo, a lista de substâncias perigosas também foi reduzida para cerca de 50 substâncias, remetendo as restantes outrora contempladas para regulamentos e normas adicionais relacionadas. As novas funções da indústria e dos órgãos/autoridades administrativos incluem a preparação de planos de emergência internos e externos e a avaliação de possíveis efeitos de acidente, incluindo potenciais efeitos de dominó, entre outros requisitos. Além disso, a implementação de um sistema de gestão de segurança também passou a ser obrigatória, para garantir o uso de medidas adequadas para controlar os perigos previsíveis, sendo estas devidamente geridas e continuamente atualizadas para serem eficazes a todo o momento. Aqui é introduzida também a cartografia de risco com a cenarização de acidentes e a previsão das zonas afetadas, permitindo, de antemão, prever os efeitos e quantificar danos, bem como organizar as operações de proteção e socorro.

Uma nova vaga de acidentes graves como os ocorridos nas cidades de Enschede e Toulouse, aliada a uma vaga de estudos sobre as substâncias perigosas e os seus efeitos cancerígenos, bem como atualizações no sistema de classificação de matérias perigosas, trouxe a necessidade de rever a diretiva tendo esta, por conseguinte, sofrido a sua primeira alteração em 2003 pela Diretiva 2003/105/CE.

As atividades de armazenamento e processamento de produtos minerados, substâncias pirotécnicas e explosivos e do armazenamento de fertilizantes passaram também a estar incluídos.

Por fim, apesar de a taxa de acidentes graves se ter mantido relativamente estável, foi reconhecida a necessidade de algumas alterações para reforçar o nível de proteção, em particular no que se refere à prevenção de acontecimentos nefastos, surgindo assim a Diretiva 2012/18/UE ou Seveso III. No entanto, o evento impulsionar para a alteração e revisão da diretiva acabou por ser o novo quadro legal em matéria de classificação de substâncias e misturas perigosas, o Regulamento CE n.º 1272/2008 (CLP). O Anexo I da Diretiva sofreu, dessa forma, grandes alterações com a introdução de novas categorias como os sólidos pirofóricos ou aerossóis, a adaptação de categorias como, por exemplo, tóxicos para a saúde humana e a introdução de novas substâncias. Uma vez mais, é reforçada a necessidade de uma comunicação ao público mais frequente e transparente, não somente em caso de acidente, mas previamente, bem como a participação do mesmo em processos de alteração ou implementação de novas indústrias. A Diretiva Seveso III vêm também aclarar a regulamentação em matéria de ordenamento do território, com o cadastro das zonas de perigosidade e cartas de condicionantes, o estabelecimento de obrigatoriedade de inspeções por parte das entidades competentes.

A implementação desta diretiva trouxe evidentes avanços no que à prevenção e controlo de acidentes diz respeito, nomeadamente, a nível europeu, conforme é possível verificar com os dados da Tabela 5. No entanto, o risco não foi anulado, registando-se, pontualmente, acidentes com dimensões e consequências consideráveis. Nesse sentido, vários investigadores tentam explicar a razão para a continuidade de ocorrências, apesar de todas as exigências impostas pela regulamentação, nomeadamente, pela Diretiva Seveso.

Perrow (1999) defende que os acidentes ainda acontecem uma vez que as empresas mais desenvolvidas possuem, cada vez mais, tecnologias mais complexas nas suas instalações e processos, o que resulta em situações cuja aprendizagem ainda se encontra a ser desenvolvida (Lagadec, 1997).

Outros autores como Hopkins (2005) afirmam que essa complexidade é o que torna os acidentes tão previsíveis. No entanto, é geralmente reconhecido que os acidentes ocorridos no passado representam importantes dados experimentais e são fontes essenciais para atualizar os requisitos de última geração na segurança do processo (Uth & Wiese, 2004).

Este autor argumenta que as lições e conhecimentos recolhidos de eventos passados são valiosos no sentido de permitirem encontrar melhores maneiras de gerir as causas mais frequentes de falhas ao nível da segurança do processo e das instalações como, também, na resposta à emergência. Assim sendo, a investigação dos acidentes é uma fonte indispensável para desenvolvimento de novas medidas de prevenção e controlo de acidentes.

Em Portugal, para além da transposição objetiva dos conteúdos das diretivas, os governos foram criando estruturas de apoio e legislação complementar que permitisse colocar em prática o legislado. Em 1987, com a transposição da diretiva Seveso I, foi criada a Autoridade Técnica de Riscos Industriais Graves (ATRIG), tendo sido designada como a autoridade nacional competente para aplicação e fiscalização dos normativos europeus em matéria de riscos industriais graves. Esta autoridade era presidida pela então Direção Geral da Qualidade do Ambiente e possuía representantes de vários quadrantes, desde a área da saúde, higiene e segurança no trabalho, atividades industriais e proteção civil. Esta entidade teve especial relevância na área do licenciamento, sendo que as entidades licenciadoras (câmaras municipais) só o podiam fazer após um parecer favorável da ATRIG. Em 1993, a ATRIG passa para a tutela do Ministério do Ambiente. Pela primeira vez, em casos de situação de conflito urbanístico, é reportada a legislação de uso dos solos e lei de bases de ambiente, sendo, nesse ano, publicado um decreto-lei (DL n.º 204/93 de 3 de junho) que define os elementos de informação a fornecer às populações, no domínio dos acidentes industriais graves. Em 2001, com a transposição da Diretiva Seveso II para o direito nacional, foram efetuadas alterações no que concerne às entidades competentes para a avaliação

de risco de acidentes e de sistemas de gestão de segurança, passando essa incumbência para a Direção-Geral do Ambiente (DGA), o planeamento de emergência para o Serviço Nacional de Proteção Civil (SNPC) e a fiscalização e inspeção ambiental para a Inspeção Geral do Ambiente (IGA). Foi também criada a Comissão Consultiva para a Prevenção e Controlo de Riscos de Acidentes Graves (CoPRAG) para acompanhamento e representação a nível internacional. Com a última atualização da legislação (Seveso III), as competências passam para a Agência Portuguesa do Ambiente (AgPA), Autoridade Nacional de Proteção Civil (ANPC) e Inspeção Geral da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território (IGAMAOT), respetivamente. A CoPRAG foi extinta. São ainda envolvidos os municípios no âmbito do planeamento de emergência, passando estes a serem responsáveis pela elaboração dos planos de emergência externos (PEE), pela atuação no âmbito do planeamento e ordenamento do território e aviso e informação públicas.

2.4. Gestão operacional e de emergência num acidente com MP

O conceito de gestão de emergência pode ser definido como uma atividade complexa constituída por um conjunto de metodologias, processos, procedimentos e práticas capazes de organizar os meios humanos e materiais, com vista à resposta mais ou menos eficiente para fazer face a uma situação de emergência (Lindell *et al.*, 2006). Um sistema integrado de gestão de emergência, na ótica de Poyarkov (n.d.), poderá ser resumido em quatro fases distintas: prevenção, preparação, resposta e recuperação.

Este conceito tem evoluído ao longo dos tempos, por norma, acompanhado por situações marcantes da história, como acidentes graves ou catástrofes de índole tecnológica ou natural. Este conceito surge pela primeira vez em 1803, num Ato Congressional dos Estados Unidos da América que invoca o termo no âmbito de um grande incêndio ocorrido em New Hampshire. No entanto, é na década de 70 que o conceito de gestão de emergência se estabelece como uma atividade relevante no desenvolvimento das sociedades, pouco tempo após os desastres de Flixborough ou de Seveso e a ocorrência de múltiplos furacões nos Estados Unidos da América e, ainda, o sismo de 1971, em San Fernando, na ótica da *Federal Emergency Management Agency (FEMA)* (2021).

No campo dos acidentes com matérias perigosas, a gestão operacional e de emergência também sofreu amplas alterações após os acidentes ocorridos em Flixborough e Seveso devido, em grande parte, à introdução da Diretiva Seveso. Parte das melhorias residem na comunicação entre os operadores e os *stakeholders* (população, agentes de proteção civil, entidades estatais, ...) bem como a introdução de instrumentos de planeamento de emergência, internos e externos às instalações industriais.

Vários autores, como Wilson (1982), Hay (1982) ou Eskenazi *et al.* (2018), defendem que os impactes na saúde humana decorrentes do acidente de Seveso, poderiam ter sido muito menores caso a evacuação das áreas potencialmente afetadas tivesse ocorrido nas primeiras horas após a libertação da dioxina. Porém, a retirada das pessoas só se iniciou doze dias após a formação da nuvem tóxica e quatro dias após o aparecimento dos primeiros sintomas e efeitos na população. Até então, não tinha existido, por parte do operador das instalações industriais, quaisquer comunicações com as entidades italianas. O mesmo cenário replicou-se em Chernobyl, apesar de a situação ser mais difícil de controlar, admitem Saenko *et al.* (2011). Em contraponto, nos acidentes de Toulouse, Buncefield e Viareggio, apesar de terem existido vítimas, a evacuação das áreas envolventes às zonas acidentadas foi concretizada logo após os respetivos acidentes, diminuindo o número de elementos vulneráveis, o que revela uma evolução significativa na gestão de emergência com matérias perigosas (Dechy *et al.*, 2004; BMIIB, 2008b; Landucci *et al.*, 2011).

Outra questão importante para a gestão de emergência, embora seja mais recente e beneficie do avanço tecnológico, prende-se ao cadastro prévio das zonas de perigosidade e das áreas potencialmente afetadas. Em Seveso, quando iniciada, a evacuação foi realizada de acordo com estimativas das autoridades das áreas potencialmente afetadas, estabelecendo prioridades neste processo. Estas estimativas foram desenhadas com recurso às quantidades previstas de dioxina libertadas e às direções do vento desde o dia do acidente (Ver Figura 3) (Sambeth, 1983; Wilson, 1982). Por outro lado, também com o acidente de Seveso, foi detetada uma outra necessidade que em muito incrementou a eficácia nos processos de gestão operacional e de emergência, no caso, a definição de limites de exposição públicos a agentes químicos, o que, na argumentação de Wilson (1982), é vital nas tomadas de decisão afetas à evacuação. Foi com base nessas premissas que as autoridades norte americanas e canadianas desenvolveram também, em 1996, o *Emergency Response Guidebook (ERG)* que, com base no estudo dos limites de exposição públicos, definiu para um conjunto de substâncias distâncias de segurança que englobam, naturalmente, áreas a evacuar, de forma a auxiliar a intervenção dos primeiros meios de socorro a chegar ao local. Este documento tem sido, regularmente, atualizado (U.S. Department of Transportation & Transports Canada, 2020).

Por outro lado, para além de agilizar processos e ações como a evacuação de populações, o conhecimento das áreas potencialmente afetadas e respetivos efeitos físicos (com recurso aos limites de exposição públicos) possibilita o desenvolvimento de planos de emergência, tanto internos (das instalações industriais) como externos (zona envolvente/município(s) local(is)) ou, por ventura, internacionais, dado que os acidentes industriais podem assumir dimensões transfronteiriças (Funtowicz *et al.*, 2000).

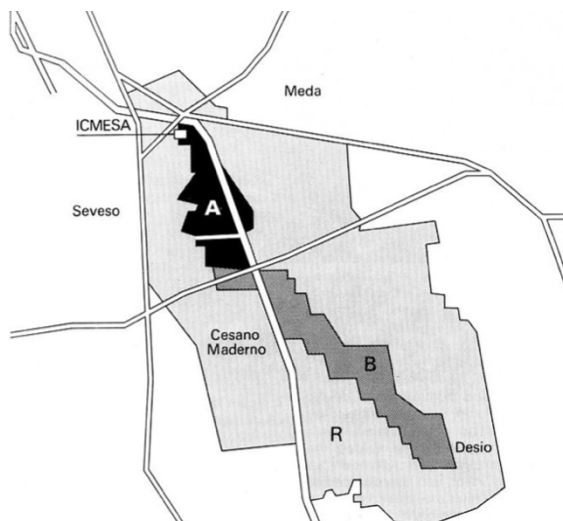


Figura 3. Delimitação das áreas potencialmente afetadas no acidente de Seveso | Fonte: (Wilson, 1982)

Os mesmos autores adiantam que o estudo destas componentes do risco químico para instalações fixas demonstrou a vulnerabilidade das sociedades que se situam na periferia destes complexos, justificando, melhores políticas de gestão territorial.

Renn (1989) sublinha também a importância da comunicação de risco na gestão de uma emergência desta natureza e a sua evolução a partir da implementação da Diretiva Seveso. Contudo, o mesmo valoriza, a importância da comunicação prévia dos riscos inerentes a cada uma das instalações industriais, por forma a que medidas de segurança e autoproteção sejam tomadas mais rapidamente pelas populações. Paralelamente, o circuito fechado de informação afeta também os órgãos e entidades de proteção civil, ou outras, na sua tarefa de planeamento de emergência e de gestão de crises (Wettig *et al.*, 1999; *European Commission*, 2019), o que também foi diagnosticado pelas investigações efetuadas ao acidente de Seveso (Funtowicz *et al.*, 2000). Contudo, De Marchi (1991), destaca que o estabelecimento deste direito de informação ao público, mas, também, dos órgãos públicos e entidades de proteção civil, sofreu fortes resistências por parte de grandes representantes da indústria química, uma vez que estes defendiam que tais informações eram confidenciais e que poderiam gerar alarme social e disrupções nas economias locais.

2.4.1. Resposta a emergência com matérias perigosas

O surgimento de uma emergência cria a necessidade urgente de salvar vidas, salvaguardar bens e o meio ambiente bem como estabilizar a situação de forma a que a mesma não gere ainda mais danos (Poyarkov, 2004). Estas ações de resposta incluem a notificação das entidades de proteção civil, o acionamento de planos de emergência, alerta e eventual evacuação de populações, manter

a mesma informada, fornecer tratamento médico e apoio social e, no final, repor a normalidade (Micheal K. Lindell et al., 2006) .

Poyarkov (2004) defende que uma emergência desta natureza e complexidade ser alvo de análise por múltiplos atores, desde logo, agentes de proteção e socorro como bombeiros ou forças de segurança, equipas de emergência médica (pré-hospitalar e hospitalar), técnicos ambientais, estruturas políticas, operadores logísticos, exploradores das instalações industriais, entre outros. O autor supracitado e o ERG (2020) definem um conjunto de informações essenciais a recolher para planeamento e desencadeamento das operações de socorro e proteção civil num teatro de operações (TO), a saber:

- Natureza do incidente;
- Matérias e substâncias envolvidas;
- Quantidade estimada de produto libertado/derramado;
- Riscos e fenómenos potenciais;
- Severidade potencial da matéria para a saúde humana;
- Localização do incidente e tipo de envolvente (malha urbana, zonas agrícolas, ...);
- Condições meteorológicas (aquando acidente expectáveis);
- Elementos sensíveis e/ou estratégicos existentes na envolvente e número de potenciais pessoas afetadas;
- Equipamentos de Proteção Individual (EPI) necessários para os agentes de proteção civil;
- Cuidados a tomar na prestação de socorro e as suas limitações;
- Sintomatologia associada à exposição;
- Logística operacional (meios operacionais, equipamento, combustíveis, meios de descontaminação, ...);
- Meios de suporte às operações (sistemas de informação geográfica (SIG), guias operacionais, ...);

Todavia, apesar dos procedimentos ao nível da gestão operacional e organização dos TO estarem relativamente padronizados, podem-se encontrar algumas diferenças nas diretrizes operacionais de cada país, com especial atenção aos casos dos Estados Unidos da América/Canadá, Reino Unido e Espanha. Refira-se que, no caso português, a resposta é baseada nas diretrizes americanas e canadianas (ANEPC, 2016). As diretrizes britânicas estabelecem que a definição inicial do teatro de operações deverá ser estabelecida em três zonas distintas: zona quente, zona morna e zona fria, na argumentação do *Department for Communities & Local Government (DCLG) (2012)*.

Segundo estas indicações operacionais, a delimitação destas áreas deverá ter em conta, no imediato, a direção do vento, em todas as zonas, conforme ilustra a Figura 4:

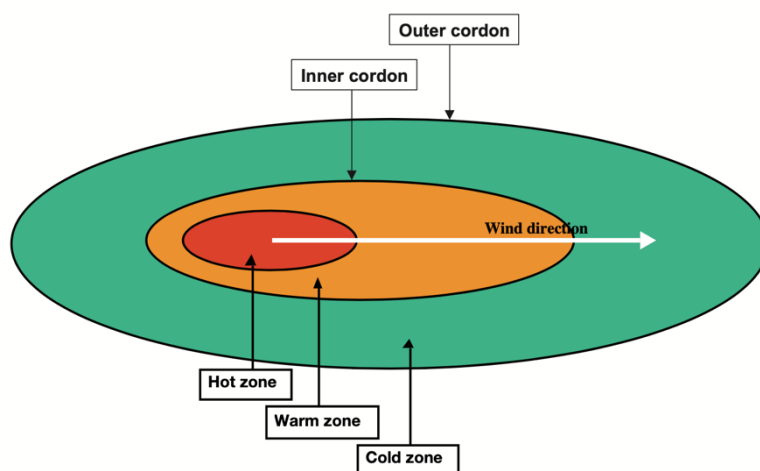


Figura 4. Setorização inicial do teatro de operações segundo as diretrizes britânicas | Fonte: (DCLG, 2012)

Contudo, as áreas dessas zonas não são claramente definidas, remetendo para a avaliação do comandante das operações de socorro (COS) local, referindo, no entanto, que estas deverão ser delineadas mediante a perigosidade da matéria envolvida e com um raio mínimo de 250 metros para o público em geral. No caso espanhol, Barberá *et al.* (2012) estabelecem que os teatros de operações devem ser sempre encarados, inicialmente, com uma distância de 50 metros em relação ao ponto de fuga/derrame (zona quente), não sendo permitido a aproximação de veículos a uma distância inferior a esta. Após a realização do primeiro reconhecimento, a definição das zonas de perigo, nomeadamente, a zona quente, é dimensionada em quatro medidas distintas: 50, 100, 300 e 1000 metros. Estas medidas são adotadas mediante a existência de fuga, bem como o estado físico da matéria (sólido e granulado, líquido ou gás), ou a existência do risco de explosão, não tendo em conta a direção do vento (Barberá *et al.*, 2012).

Por último, a matriz americana/canadiana tem em conta dois fatores principais nas denominadas zonas de isolamento inicial e zona de proteção, designadamente, a direção do vento e a quantidade provável de matéria derramada (U.S. Department of Transportation & Transports Canada, 2020). Se o derrame for superior a 208 litros, então este é considerado como um grande derrame, caso contrário, é denominado por pequeno derrame. As áreas de isolamento inicial são definidas em todas as direções em volta do ponto de fuga ou derrame. Contudo, as zonas de proteção já são definidas tendo em conta a direção do vento, mas, também, a altura do dia (ex: manhã, tarde ou noite), atendendo à sua influência na dispersão atmosférica de poluentes (Sorbjan, 2003a). As áreas e distâncias das zonas de isolamento inicial estão pré-estabelecidas

através do *ERG* para muitas das matérias perigosas que transitam ou são manipuladas ou produzidas, variando, por exemplo, entre 30 e 1000 metros.

Naturalmente, as diferenças na organização espacial inicial do teatro de operações poderão condicionar, em grande medida, o subsequente desenvolvimento das ações de proteção e socorro, com a introdução de variáveis como a facilidade no reconhecimento e a maior ou menor salvaguarda inicial nas distâncias de segurança, colocando, em diferentes níveis de risco, as pessoas que possam ser potencialmente afetadas pelos efeitos do acidente (HM Government, 2008).

No entanto, todas as filosofias convergem de uma forma relativamente semelhante nas tarefas e ações subseqüentes, isto é, no ato de informarem e alertarem instituições públicas e/ou de proteção civil, órgãos políticos e a própria população, na ação de contenção do derrame/fuga (se possível), no controlo de possíveis fenómenos derivados, como os incêndios, privilegiando, em acidentes em grande escala ou que envolvam elevados riscos para o ser humano ou ambiente, a evacuação das pessoas potencialmente expostas ou tamponamento e proteção de linhas de água ou solos.

Em todos os casos analisados, é feita a menção aos processos de descontaminação dos operacionais envolvidos, para além de ações de trasfega ou gestão de resíduos ou águas residuais resultantes do combate de incêndios, por exemplo, demonstrando alguma harmonização no sistema de gestão de ocorrências envolvendo matérias perigosas.

2.5. Síntese e conclusões

Neste capítulo foram discutidos importantes assuntos relativos às matérias perigosas, nomeadamente conceito, classificação, características e riscos associados ao seu transporte, manipulação e armazenamento. Analisou-se a evolução legislativa e o domínio da proteção e socorro em acidentes com substâncias dessa natureza, o que proporcionou um conhecimento de base importante para o desenvolvimento dos próximos capítulos do presente trabalho.

De entre as várias temáticas e assuntos anexos às matérias perigosas, destacam-se várias ideias chave, uma das quais, que qualquer substância, quando presente em quantidades excessivas, pode tornar-se perigosa, não se cingindo somente ao domínio de matérias químicas. Por outro lado, a classificação e a organização destas substâncias, segundo os normativos europeus e mundiais, espelham a multiplicidade de perigos e riscos associados, podendo estes manifestar-se em diferentes e complexos fenómenos potencialmente danosos para o ser humano, bens e ambiente. A fundamentar esta premissa, surgem os numerosos acidentes ocorridos, especialmente a partir da década de 70 do século passado, em instalações e infraestruturas fixas onde se manipulavam e se produziam matérias perigosas. Estes eventos evidenciaram, da forma mais negativa possível,

perigos e fenómenos danosos associados, que eram relativamente desconhecidos até então. No entanto, como consequência desses acidentes, como os de Seveso ou Bhopal, foram retirados aprendizagens e ensinamentos que suscitaram e provocaram um desenvolvimento legislativo e regulamentar significativo que incrementou o nível de segurança das instalações, mas, também, um melhor e mais eficaz planeamento e resposta operacional no domínio da proteção civil.

Todavia, o foco cingiu-se, de uma forma muito particular, nas instalações fixas, olvidando-se, de certa forma, as ações de transporte ou cargas e descargas. Apesar de regulamentados, como se verá no capítulo seguinte, na verdade, não há informação suficientemente fidedigna quanto ao transporte de matérias perigosas e respetivas operações associadas, apesar de ser a mesma a panóplia de riscos que se lhes associa quanto à produção, manuseio e armazenamento em instalações fixas, com a agravante de, no caso do transporte, esses riscos se poderem manifestar em qualquer local e em qualquer instante, de um modo totalmente imprevisto.

Capítulo 3 – Transporte de matérias perigosas

A relação entre os transportes e o desenvolvimento económico é umbilical e indissociável (Hoyle, 1973). Se o transporte é, *per si*, essencial, por exemplo, para a deslocação das pessoas em trabalho ou lazer, tem muito mais importância enquanto atividade facilitadora para o desenvolvimento económico (Lun *et al.*, 2011). Segundo Ferreira (2013), o setor dos transportes é vital para todos os setores económicos uma vez que todos eles estão dependentes, direta ou indiretamente, desta atividade. De entre o vasto leque dos transportes efetuados, encontram-se os afetos às mercadorias (Button, 2010) e, por sua vez, às matérias e substâncias perigosas, conforme assinalam Yilmaz *et al.* (2016).

Atendendo à importância crescente destas matérias e substâncias para vários setores da nossa sociedade, como são a agricultura e a energia, entre outros, elas têm sido produzidas e transportadas em maiores quantidades e volumes por todo o mundo (Moreno & Tutrone, 2010, 2018; Ditta *et al.*, 2019). Como consequência, a frequência de vários tipos de acidentes ao longo do tempo, tanto em instalações fixas como em transporte, tem tido um aumento significativo, nos últimos anos (Oggero *et al.*, 2006).

A investigação e estudo de anteriores acidentes, tal como se clarificou no capítulo anterior, contribui, de forma significativa, para a melhor compreensão dos riscos envolvidos e para a otimização de processos de planeamento e gestão associados. Contudo, deverão ser antecidos pela sua identificação, tornando-se necessário conhecer, também, os transportes e respetivas matérias envolvidas por forma a caracterizar esses mesmos riscos.

Neste contexto, o presente capítulo debruçar-se-á sobre o transporte de matérias perigosas, inicialmente com estatísticas relativas à União Europeia (UE) e Estados Unidos da América (EUA), para, de seguida, se focar nos dados existentes a nível nacional. Bem presente estará também uma reflexão sobre os perigos associados e implicações para as operações de proteção civil e os aspetos legislativos mais pertinentes.

3.1. Estatísticas do Transporte

O transporte de matérias e substâncias perigosas pode ser concretizado por via terrestre (rodovia ou ferrovia), por meio aquático (marítimo ou fluvial), por meio aéreo e, ainda, através de infraestruturas fixas, como são exemplo os *pipelines* (Kongboonma, 1991). Quando é utilizado mais do que um meio de transporte, mas sem trasfega de produto ou troca de cisterna, o mesmo é denominado intermodal (Galierikova & Sosedova, 2018). Este processo envolve vários atores, como remetentes, despachantes de cargas, consignatários, operadores, seguradoras, entidades estatais

e agentes de proteção civil, tendo, cada um deles, uma função distinta nas várias fases do transporte (ICF Consulting, 2000).

3.1.1. União Europeia (UE)

No caso da União Europeia (UE), são utilizados, essencialmente, quatro métodos para o transporte de matérias perigosas, rodoviário, ferroviário, fluvial e por *pipeline*, assumindo o transporte marítimo e aéreo valores muito residuais (Eurostat, 2020). Pela Figura 5 conclui-se uma grande estabilidade nos métodos mais utilizados.

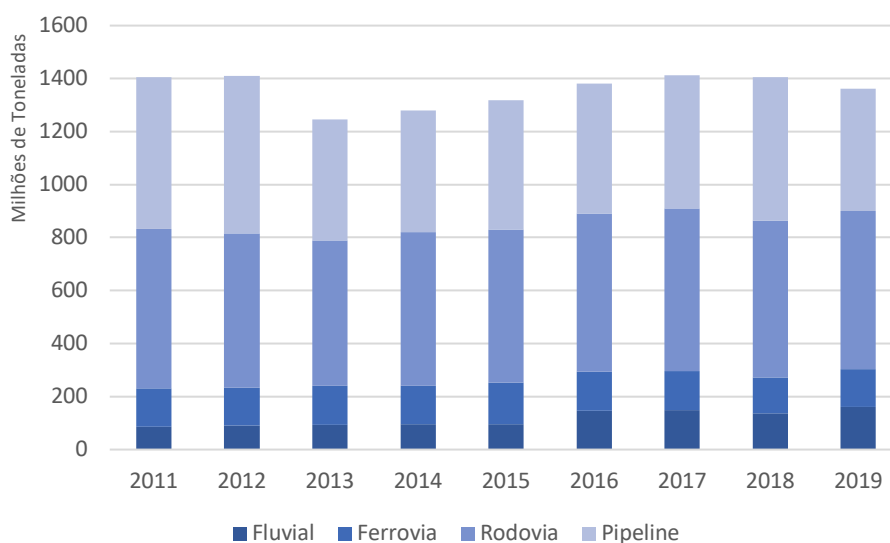


Figura 5. Transporte de matérias perigosas na União Europeia por método de transporte (2011 - 2019)
Fonte: Eurostat, 2021

O transporte de matérias perigosas por meios terrestres são os predominantes, representando cerca de 54% do total do volume de matérias perigosas transportadas no período compreendido entre os anos de 2011 e 2019. Existe, no entanto, uma clara diferença entre a rodovia e a ferrovia. O transporte rodoviário destaca-se, assumindo-se como o preferencial para os transportes desta natureza. Naquele período, o transporte rodoviário representa 43% do volume total de matérias perigosas transportadas na UE, sendo o seu valor relativamente estável ao longo dos anos. O valor mais alto registou-se no ano de 2017, com um total de 614,27 milhões de toneladas transportadas.

A preferência sobre esta modalidade de transporte, na opinião de Kanj (2016), deve-se ao facto de o transporte rodoviário ser mais rápido, mais flexível em termos de itinerários e economicamente mais viável para cargas mais reduzidas.

Por outro lado, o transporte de matérias perigosas por *pipeline* foi o segundo método mais utilizado na União Europeia, assumindo, no período em análise, um total de 37% do volume de substâncias transportadas. A densa rede de condutas (gasoduto e oleoduto) existentes na Europa, muitas delas provenientes do norte de África ou de países do leste europeu, como a Rússia, é

utilizada essencialmente para o transporte de gás natural, outros combustíveis e outros derivados do petróleo (Silva, 2007). Apesar de ser considerado por alguns autores, como Pinho *et al.* (1987), o método mais seguro para o transporte de substâncias perigosas em comparação, por exemplo, com o transporte rodoviário, na verdade, ele apresenta algumas limitações/ameaças, como são os casos da pouca flexibilidade quanto a itinerários, a possibilidade de interferência externa ou atividade de terceiros, movimentos do solo ou riscos naturais em geral, e os custos elevados de manutenção e logística associada (Papadakis, 1999). O transporte de matérias perigosas por *pipeline* sofreu algumas flutuações no período em análise, sendo que, após o valor máximo atingido em 2012, com um total de 594,39 milhões de toneladas transportadas, atingiu-se valores mínimos nos anos de 2013 e 2014 assistindo-se, posteriormente, a pequenos crescimentos nos anos seguintes. Embora os valores tenham sofrido algumas oscilações, o transporte por *pipeline* é, indiscutivelmente, o segundo método mais utilizado na União Europeia para o transporte de substâncias perigosas.

A ferrovia representa 11% do total de matérias perigosas transportadas no período entre 2011 e 2019. A par do que se verifica para o transporte rodoviário, os valores da ferrovia têm assumido uma grande estabilidade ao longo dos anos, estando sempre concentrados na ordem das 134 a 156 milhões de toneladas/ano.

Por conseguinte, a taxa de acidentes ferroviários é, geralmente, inferior à dos acidentes rodoviários, no entanto, o transporte ferroviário acarreta um dano potencial muito superior relativamente ao rodoviário devido às grandes quantidades de matérias perigosas transportadas pelos vagões ou cisternas (Bubbico *et al.*, 2000; Fabiano *et al.*, 2005), originando áreas potencialmente afetadas incomparavelmente superiores (Bubbico *et al.*, 2000).

Por último, o transporte por vias navegáveis interiores (fluvial), com 9%, assume-se como o método de transporte menos escolhido de entre os quatro em análise, assumindo expressões muito baixas ou nulas em alguns países da UE, apesar de, em países como Áustria, Bélgica, França, Alemanha, Holanda e Reino Unido, possuírem grandes redes de rios navegáveis. Segundo Ronza *et al.* (2003), o transporte por vias navegáveis interiores apresenta diversas vantagens em relação aos demais, nomeadamente o menor consumo de combustível por tonelada transportada e menor ruído, contribuindo ainda para a diminuição do tráfego rodoviário.

Em contraponto com os restantes métodos, o transporte fluvial assumiu uma tendência crescente no período em análise, sendo, cada vez mais, considerado como uma alternativa viável aos métodos mais tradicionais. Entre 2011 e 2019, o volume de matérias perigosas transportadas por vias navegáveis interiores sofreu um incremento de 86%, passando das 86 para 162 milhões de toneladas/ano, revelando a crescente aposta neste método de transporte na UE.

No que concerne à tipologia das matérias transportadas, existe uma limitação na disponibilização de dados do Eurostat. Neste âmbito, apenas é disponibilizada informação quanto às classes de perigo das matérias transportadas por ferrovia e rodovia. No entanto, realce-se que estes métodos são, também, os mais representativos. Ilustra-se na figura seguinte a distribuição, por classe de perigo, das matérias perigosas transportadas na UE entre 2011 e 2019:

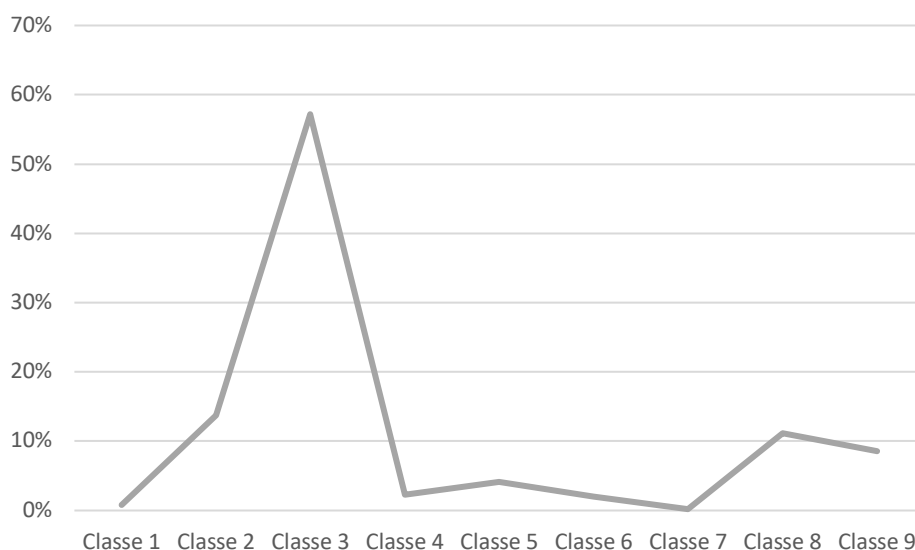


Figura 6. Distribuição percentual das matérias perigosas transportadas na UE entre 2011 e 2019, por classes de perigo | Fonte: Eurostat, 2021

A análise da Figura 6 permite a extração de importantes informações, particularmente, o domínio da classe 3 – líquidos inflamáveis – nos transportes efetuados na UE, representando mais de metade da totalidade dos transportes (57,20%). Tais informações são de importância acrescida para os agentes e atores dos ramos da proteção e socorro e proteção civil, na medida em que, sendo a tipologia de matérias mais transportada, é diretamente proporcional a probabilidade de as mesmas serem envolvidas em acidentes. Nesse sentido, os meios de socorro e proteção civil, nos processos de planeamento de emergência e de preparação de resposta, devem considerar, sobretudo, cenários de acidente cujos efeitos residem, essencialmente, sobre os efeitos térmicos resultantes de incêndios e explosões, pois são os maiores perigos associados a este tipo de matérias (Crocker & Napier, 1986). Dependendo do líquido derramado, a formação de nuvens tóxicas é outro risco a ter em conta. Associadas a este tipo de fenómenos e respetivos efeitos estão, também, as matérias pertencentes à classe 2 – gases inflamáveis – que, segundo os dados da Figura 6, apresentam-se como a 2ª classe mais representativa no domínio dos transportes terrestres de matérias perigosas na UE. Apesar disso, o seu transporte apenas corresponde a 13,75% do total. Seguem-se a estas, as classes 8 e 9, com 11,14% e 8,54%, respetivamente. As matérias e substâncias perigosas pertencentes à classe 8 – matérias corrosivas – aproximam-se, percentualmente, dos

valores atingidos pela classe 2, ao passo que a classe 9 – matérias e objetos perigosos diversos – apresenta uma variação negativa de pouco mais de 5% em relação à classe 2.

Realce-se, no entanto, que a percentagem de transportes afetos à classe 9 é considerável no contexto europeu, o que poderá levantar algumas preocupações na temática do planeamento de emergência e preparação da resposta. Podendo as matérias, substâncias e objetos inseridos na classe 9 assumir riscos tão diversos quanto complexos, os processos de planeamento e a resposta à emergência podem também tornar-se bastante complexos dado que a panóplia de riscos é muito diversificada e difícil de modelar e antecipar. Para além disso, muitas das matérias presentes nesta classe apresentam designações muito ambíguas, como, por exemplo, “Matéria Perigosa do Ponto de Vista do Ambiente, Líquida, N.S.A.”, desconhecendo as hipotéticas composições e riscos associados uma vez que mais do que uma substância se poderá inserir nesta designação.

Por fim, no âmbito europeu, todas as restantes classes são muito pouco representativas no transporte terrestre de matérias perigosas, assumindo valores sempre inferiores a 5% e, como no caso dos explosivos (classe 1) e matérias radioativas (classes 7), valores inferiores a 1%.

3.1.2. Estados Unidos da América (EUA)

Por se tratar de um país de referência mundial, considerou-se importante analisar os transportes de matérias e substâncias perigosas nos Estados Unidos da América (EUA). À semelhança do que se verificou para a UE, nos anos 2012 e 2017, registaram-se transportes por via terrestre (ferrovia e rodovia), por via marítima e fluvial, por via aérea (embora residual) e, por último, por infraestruturas fixas, vulgos *pipeline* (U.S. Department of Transportation, Bureau of Transportation Statistics, U.S. Department of Commerce, & Census Bureau, 2017). A informação disponibilizada pelos vários institutos e departamentos do governo americano relativa ao transporte de matérias perigosas neste país possui ainda o detalhe do transporte efetuado pela opção intermodal, pese embora, só exista informação relativa aos anos civis supramencionados. Apresentam-se, de seguida, os valores registados nos EUA de matérias perigosas transportadas, por meio de transporte, nos anos de 2012 e 2017 (U.S. Department of Transportation *et al.*, 2017):

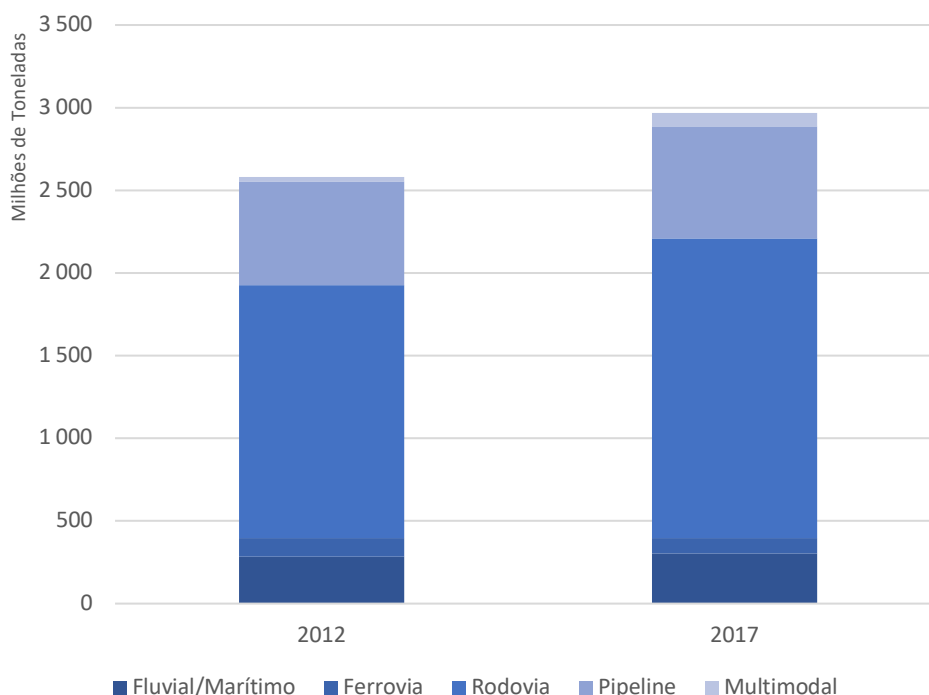


Figura 7. Transporte de matérias perigosas nos EUA (2012 e 2017) Fonte: US Department of Transportation; Bureau of Transportation Statistics; US Department of Commerce, Census Bureau, 2021

Segundo os dados da Figura 7, e à semelhança do que se verifica no caso europeu, o método preferencial para o transporte de matérias perigosas nos EUA é, também, a rodovia. O transporte por estrada é assim responsável pela movimentação de 60,3% da totalidade de matérias perigosas que transitaram nos EUA nos anos de 2012 e 2017, em média. Se a este valor se adicionar a percentagem afeta à ferrovia (3,7%), têm-se que os métodos terrestres de transporte de matérias perigosas representam 64%, assumindo-se, ainda mais que na UE, como a forma preferencial para a concretização destes transportes, pese embora, os valores muito diferentes entre a rodovia e a ferrovia. No entanto, em comparação, uma vez mais, com a UE, verifica-se que eles são ainda mais nos EUA, sendo mais preponderante o transporte rodoviário em relação à ferrovia. Tal facto poder-se-á justificar pela dimensão do território e pela maior dificuldade da ferrovia em atingir certos pontos do país, algo que só é alcançável por meios que utilizam a rodovia. Por outro lado, os EUA possuem combustíveis mais baratos já que são um importante produtor de petróleo. As opções políticas de sub-investimento na ferrovia, durante muitos anos, também contribuem para o cenário apresentado, ainda que essa tendência se esteja a alterar.

Em termos comparativos, nos anos em análise, a rodovia sofreu um pequeno declínio de 2012 para 2017, passando dos 61,1% para os 59,4%, ao passo que a ferrovia sofreu um incremento de 3,0% para 4,3%, alterações que não são muito significativas.

O transporte em infraestruturas fixas (*pipeline*) foi, nos anos em análise, o segundo método mais utilizado para o transporte das matérias em análise, representando quase um quarto do valor total (23,6%). Percentualmente, o valor do volume transportado por *pipeline* nos EUA é inferior ao da UE, o que, uma vez mais, poder-se-á justificar pela dimensão do território e, consequentemente, as maiores dificuldades em atingir vários pontos do território através destes meios. Todavia, a utilização deste meio de transporte sofreu um incremento de 1,4%, fruto da extensão da malha de *pipelines* no país (Bureau of Transportation Statistics, 2020).

O transporte aquático, fluvial ou marítimo, representa nos EUA um total de 10,6%, em média, um valor que também se aproxima das percentagens verificadas no contexto europeu. No entanto, à semelhança de outros, também este método sofreu um aumento de 0,8% em 2017 face a 2012. Por fim, de acordo com as várias entidades americanas, o transporte intermodal apenas representa em média, 1,9%, da totalidade de matérias transportadas no país, porém, observou-se um importante aumento de 1,5% em 2017 face a 2012.

Em termos gerais, as realidades americanas e europeias acabam por ser aproximadas no que concerne aos métodos de transporte eleitos para o transporte de matérias e substâncias perigosas, pese embora, os dados norte americanos serem mais restritos a nível temporal.

Para os anos anteriormente considerados, foi também analisada a representatividade de cada uma das classes de perigo na globalidade do transporte de matérias perigosas nos EUA, apresenta-se os resultados obtidos, organizados por classes de perigo:

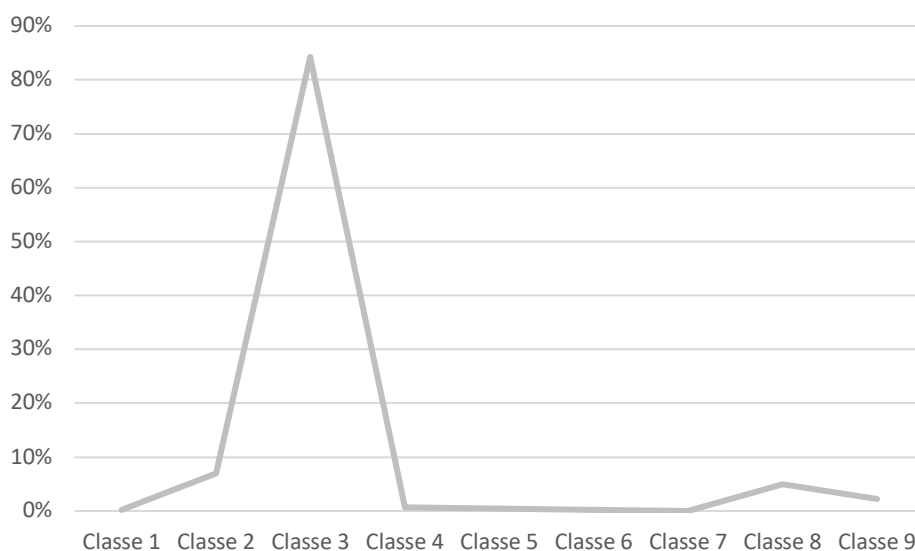


Figura 8. Distribuição percentual das matérias perigosas transportadas nos EUA em 2012 e 2017, em média, por classes de perigo | Fonte: US Department of Transportation; Bureau of Transportation Statistics; US Department of Commerce, Census Bureau, 2021

A Figura 8 reflete uma clara e nítida tendência, à semelhança do que se verificou na análise homóloga efetuada para a UE, ou seja, um domínio da classe 3 – líquidos inflamáveis – face às demais. Esta classe representou, em média, 84,25% das matérias transportadas em território americano nos períodos em análise. Embora com uma importância muito inferior relativamente à classe 3, surgem as classes 2 – gases e classe 8 – matérias corrosivas. No caso dos gases, estes representam 7,03% do total, ao passo que, as matérias corrosivas, são 4,99% do total da quantidade das matérias perigosas transportadas. No conjunto, as três classes supramencionadas, totalizam 96,27%, assumindo as restantes valores muito residuais. Apesar do panorama se aproximar do europeu no que concerne à distribuição por classes de perigo, o cenário americano é muito mais concentrado, dado que apresenta uma menor dispersão das percentagens por classe de matérias. No caso europeu, para além da importância das classes 2, 3 e 8, verifica-se também que as classes 5 e 9 assumem alguma expressão. A realidade americana contrasta nessa ideia, sendo muito mais convergente e centralizado nas classes 2, 3 e 8.

3.1.3. Portugal

Num trabalho que faz incidir o seu caso de estudo sobre uma infraestrutura ferroviária portuguesa, impõe-se, igualmente, uma análise à realidade nacional no domínio dos transportes de matérias e substâncias perigosas. Os dados disponibilizados pelo *Eurostat* (2020) demonstram que, em Portugal, efetuaram-se, entre 2011 e 2019, transportes de matérias perigosas somente por meios terrestres, isto é, por ferrovia e rodovia ou infraestruturas fixas / *pipelines*, conforme se demonstra na Figura 9:

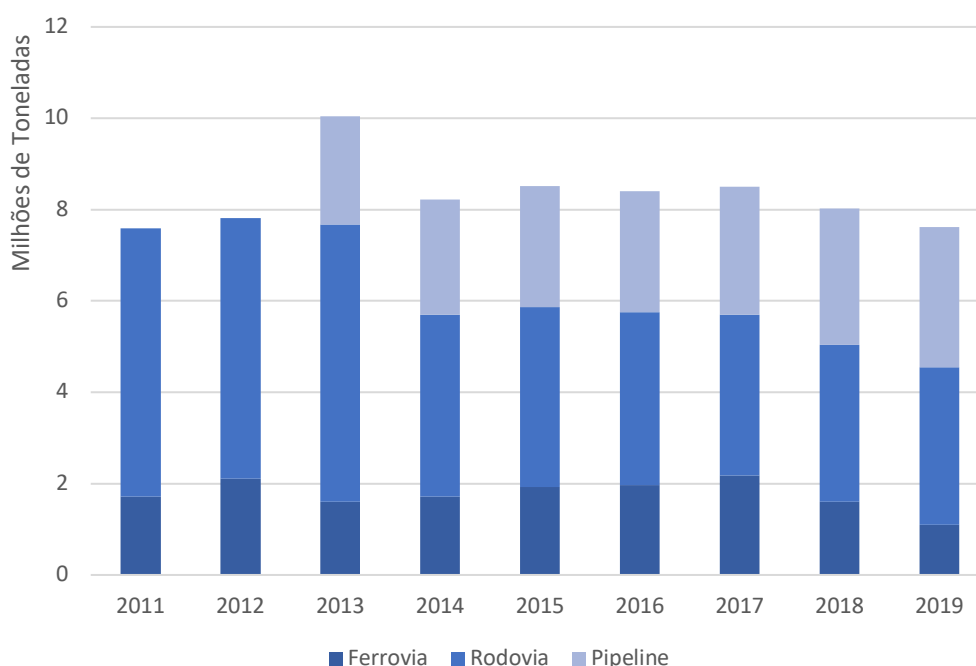


Figura 9. Transporte de matérias perigosas em Portugal por método de transporte (2011 - 2019) Fonte: Eurostat, 2021

A tendência a nível nacional reflete o mesmo cenário é observado a nível europeu e norte americano, sendo a rodovia o meio preferencial para o transporte terrestre de matérias perigosas terrestre. Do total, distribuindo-se os restantes valores pelas infraestruturas fixas (*pipelines*) (26%) e ferrovia (21%). O domínio do transporte rodoviário em relação aos demais métodos de transporte está intrinsecamente ligado ao facto da rodovia permitir alcançar os vários pontos do país, principalmente no que aos combustíveis líquidos diz respeito (Instituto Nacional de Estatística (INE), 2020), tal como também antes já se referiu.

No período em análise, verificou-se, no entanto, que após o máximo de 6 milhões de toneladas de matérias e substâncias perigosas transportadas no ano de 2013, por rodovia, os valores tendem a diminuir, tendo alcançado, em 2018, um mínimo de 3,43 milhões de toneladas, assumindo uma tendência decrescente bem marcada. Em contraponto, e apesar da ausência de dados relativos aos anos de 2011 e 2012, observa-se, de acordo com os dados da Figura 9, uma tendência crescente no volume de matérias transportadas por *pipeline*, registando-se um incremento, entre 2013 e 2019, na ordem dos 29%.

Assim, o transporte de matérias e substâncias perigosas por infraestruturas fixas assume-se como o segundo método mais utilizado a nível nacional, ao passo que a ferrovia assume o terceiro posto, com uma percentagem a rondar os 21%, e uma taxa de flutuação de valores maior em relação aos demais métodos analisados. Entre os anos de 2011 e 2019, verificou-se que a ferrovia transportou 2,17 milhões de toneladas, com o valor mínimo no ano de 2019, com um total de 1,1 milhões de toneladas.

No que diz respeito à distribuição por classes de matérias no mesmo período temporal, os dados existentes são muito mais parcos relativamente aos disponibilizados para as realidades europeia e norte americana, cingindo-se somente à rodovia e à ferrovia. Verificam-se outras lacunas, nomeadamente, a ausência de dados para as classes 1, 7 e 8 e dados incompletos no caso das classes 4 e 6. Assim, os dados existentes podem ser representados na figura seguinte:

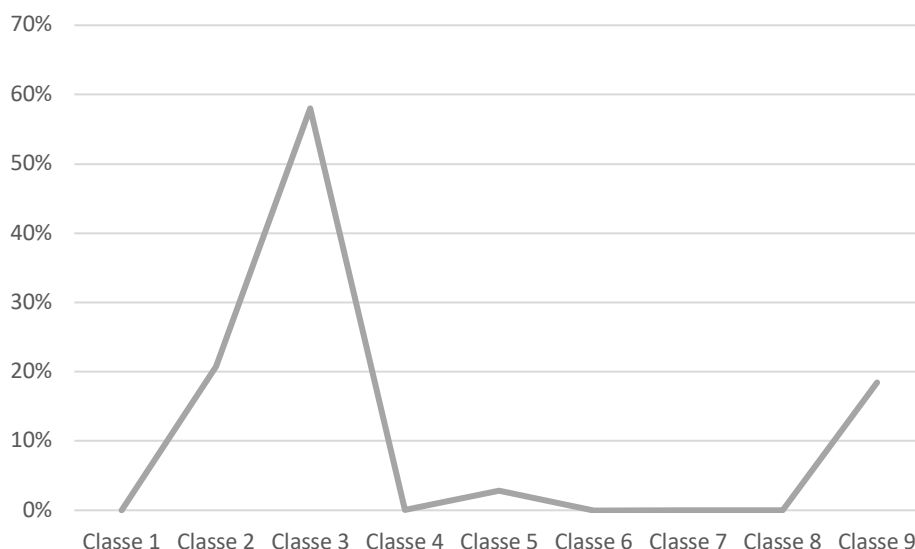


Figura 10. Distribuição percentual das matérias perigosas transportadas em Portugal entre 2011 e 2019, por classes de perigo | Fonte: Eurostat, 2021

Os dados apresentados da Figura 10 ilustram uma tendência já observada nas anteriores análises efetuadas à UE e aos EUA, ou seja, um acentuado domínio da classe 3, representado 58,01% do total de matérias perigosas transportadas por estrada e por ferrovia em território nacional. A grande parte das substâncias, inseridas na classe 3 são os combustíveis rodoviários, isto é, gasóleo (número ONU 1202) e gasolinas (número ONU 1203) (INE, 2020). Por outro lado, também ao nível nacional, verifica-se que a classe 2 é a segunda classe de matérias perigosas mais representativa e transportada em Portugal, representando um total de 20,73% da totalidade de matérias transportadas. Por sua vez, a classe 9 assume o terceiro posto com 18,40%.

Assim, e tendo em conta o apresentado, verifica-se que o conjunto destas três classes de matérias perigosas, em Portugal, representam 97,14% no universo das quantidades de matérias perigosas transportadas em território nacional. A classe 5, que abarca matérias comburentes e peróxidos orgânicos, assume o valor de 2,84%, restando apenas 0,02% a distribuir pelas restantes 5 classes, que assumem valores muito residuais ou mesmo nulos, o que configura uma realidade muito aproximada à europeia e à norte americana.

3.2. Regulamentação do transporte de MP

Muitas organizações internacionais e países basearam os seus regulamentos relativos ao transporte de matérias perigosas nas recomendações para o transporte destas substâncias emanadas pelo comité de especialistas da ONU (UNCOE). A primeira edição destes regulamentos surgiu em 1956, sendo revistos com grande regularidade por forma a dar resposta às novas tecnologias que são desenvolvidas, mas, também, para integrar novas matérias ou substâncias que passaram a ser transitadas e incluir informação recente sobre o existente. As regulamentações que

derivaram destas recomendações do comité da ONU foram o *International Maritime Dangerous Goods (IMDG) Code*, que regulamenta o transporte marítimo de matérias e substâncias perigosas, as instruções técnicas para o transporte seguro de matérias perigosas por via aérea do *International Civil Aviation Organization's (ICAO)* e o *Dangerous Goods Regulations (DGR)* da *International Air Transport Association (IATA)*, para o transporte aéreo, e os regulamentos europeus afetos ao transporte rodoviário e ferroviário, respetivamente, o *Accord relatif au transport international des marchandises dangereuses par route (ADR)* e o *International Carriage of Dangerous Goods by rail (RID)*. As diferentes regras e regulamentos elaborados para os diferentes modos de transporte são aplicáveis, tanto no transporte doméstico/intranacional, como no transporte internacional (Svensson e Wang, 2009).

De acordo com Ellis (2002), o princípio geral das regras e regulamentos supramencionados é, atendendo aos perigos conexos às substâncias em causa, o de prevenir danos em pessoas, bens e meio ambiente. O mesmo autor refere ainda que as regulamentações internacionais visam também reduzir as barreiras para o transporte destas mercadorias entre países, harmonizando o quadro legal e regulamentar, com o objetivo de facilitar o comércio e concretizar o transporte de uma forma segura em todos os países.

As recomendações da ONU relativas ao transporte de matérias perigosas convergem no sentido de alcançar níveis de segurança satisfatórios, contemplando áreas como:

- Listagem de todas as mercadorias e substâncias perigosas mais transportadas, a sua identificação e classificação;
- Procedimentos de expedição: colocação de rótulos e utilização de documentos de transporte (identificação da(s) matéria(s) transportada(s), identificação, classificação e trajeto previsível);
- Padronização de embalagens para transporte e a sua classificação e estabelecimento de procedimentos de teste e certificação das mesmas;
- Padronização das cisternas multimodais bem como os seus procedimentos de teste e certificação.

Podem ainda ser adicionados outros requerimentos específicos para os vários modos de transporte em cada país, tendo sempre por base as recomendações internacionais da ONU (UNECE, 2021). A aplicação, acompanhamento e fiscalização das normativas das Nações Unidas (UN) ou da UE, em Portugal, é da responsabilidade de diferentes entidades sendo que, no caso da ferrovia e rodovia, por exemplo, é do Instituto da Mobilidade e Transporte (IMT).

As recomendações relativas ao transporte de matérias perigosas são adaptadas e atualizadas, pelo menos, a cada dois anos, tendo os países aderentes o direito a contribuir para o

desenvolvimento das mesmas. Atendendo ao tema da presente dissertação, incidir-se-á atenção especial sobre o ADR e o RID.

3.2.1. ADR/RID

O Acordo Europeu relativo ao Transporte Internacional de Mercadorias Perigosas por Estrada (ADR) foi alcançado em Genebra, a 30 de setembro de 1957, sob os auspícios da Comissão Económica das Nações Unidas para a Europa, tendo entrado em vigor em 29 de janeiro de 1968. Portugal foi aprovado para adesão a 19 de setembro de 1964 (UNECE, 2021). Atualmente são signatários do ADR 52 países, onde se incluem todos os países da União Europeia, mas também países como Bielorrússia, Cazaquistão, Marrocos, Tunísia ou Nigéria (Kervella, 2015; Rey-Bellet, 2015), conforme pode ser percecionado na Figura 11.

Por sua vez, a história da regulamentação do transporte de matérias perigosas por ferrovia é anterior a esta data, tendo surgido as primeiras menções ao transporte ferroviário de matérias perigosas, em legislação de alguns países, durante o século XIX. Em 1893 foram emanadas regras europeias, surgindo, dessa forma, o documento *Regulations concerning the international carriage of dangerous goods by rail* (RID). Atualmente, esses regulamentos fazem parte da Convenção sobre Transporte Ferroviário Internacional (COTIF) e são aplicáveis na grande maioria dos países europeus e alguns países do norte de África e Médio Oriente (Crollius & Langeveld, 2007).

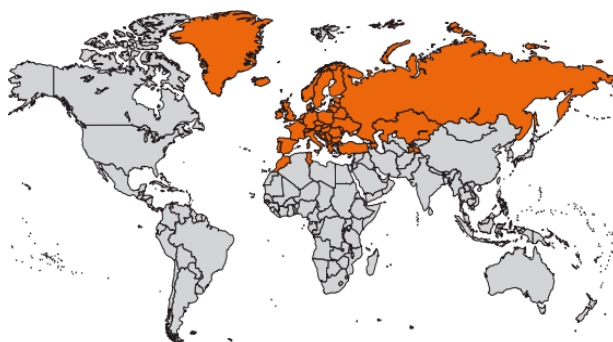


Figura 11. Países signatários do ADR | Fonte: Rey Bellet, 2015

3.2.1.1. Constituição do ADR/RID

O ADR é constituído por 9 partes, distribuídas por dois anexos, sendo que cada parte se subdivide em capítulos e estes em secções e subsecções. No interior de cada parte, o número da parte está incorporado nos números dos capítulos, secções e subsecções.

As partes 1 a 7 do ADR contêm as prescrições relativas às mercadorias, ao seu acondicionamento e à sua etiquetagem (Anexo A). Por sua vez, as partes 8 e 9 contêm as prescrições respeitantes à construção, ao equipamento, formação de condutores e à exploração dos veículos aprovados para o transporte de mercadorias perigosas (Anexo B).

As partes 1 e 3 devem ser do conhecimento de cada interveniente da cadeia de transporte pois contêm a lista de mercadorias perigosas abrangidas pelo acordo, incluindo a descrição de todas as prescrições particulares e especiais e as condições de transporte e acondicionamento. Podem ser consultadas através do Quadro A, que está organizado pelo número ONU, existindo também um segundo quadro, o Quadro B, que apresenta a listagem das substâncias por ordem alfabética. Em caso de contradição deve ser tido em conta o conteúdo do Quadro A.

De uma forma sintetizada, os conteúdos constantes do ADR são dispostos da seguinte forma:

- Parte 1: Disposições gerais;
- Parte 2: Classificação;
- Parte 3: Lista das mercadorias perigosas;
- Parte 4: Utilização das embalagens, dos grandes recipientes para granel, das cisternas e dos contentores;
- Parte 5: Procedimentos de expedição;
- Parte 6: Construção e ensaios das embalagens, dos grandes recipientes para granel e das cisternas;
- Parte 7: Condições de transporte, carregamento, descarga e manuseamento;
- Parte 8: Tripulação, equipamento e operação dos veículos;
- Parte 9: Construção e aprovação dos veículos.

O RID, por sua vez, apenas é constituído por 7 partes (1 a 7), não contemplando, ao contrário do ADR, as disposições respeitantes à tripulação, equipamento e operação dos veículos, nem as disposições relativas à construção e aprovação de veículos. No domínio ferroviário, as locomotivas de tração não têm de cumprir exigências no âmbito do transporte de matérias perigosas, somente os vagões e/ou cisternas, que se inserem no ramo das embalagens da regulamentação (Assembleia da República, 2010).

3.2.2. Enquadramento legislativo nacional

O Decreto-lei n.º 99/2021, de 17 de novembro, transpõe o ADR 2021 para a ordem jurídica interna da Diretiva 2020/1833 (UE) da Comissão, de 2 de outubro, que adapta o progresso científico e técnico aos anexos da Diretiva 2008/68/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 24 de setembro de 2008, relativa ao transporte terrestre de mercadorias perigosas, e procede à oitava alteração ao Decreto-Lei n.º 41-A/2010, de 29 de abril.

O Decreto-Lei n.º 41-A/2010, de 29 de abril, transpõe para a ordem jurídica nacional a Diretiva 2008/68/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 24 de setembro, relativa ao transporte

terrestre de mercadorias perigosas, e sistematizou toda a anterior legislação nacional referente aos transportes rodoviário e ferroviário de mercadorias perigosas.

Posteriormente, o Decreto-Lei n.º 206-A/2012, de 31 de agosto, o Decreto-Lei n.º 19-A/2014, de 7 de fevereiro, o Decreto-Lei n.º 246-A/2015, de 21 de outubro, o Decreto-Lei n.º 111-A/2017, de 31 de agosto, o Decreto-Lei n.º 41/2018, de 11 de junho, o Decreto-Lei n.º 24-B/2020, de 8 de junho, e o Decreto-Lei n.º 9/2021, de 29 de janeiro, continuaram a garantir a adequação permanente do referido decreto-lei à evolução subsequente do direito europeu, na esteira da revisão regular das convenções internacionais aplicáveis aos vários modos de transporte de mercadorias perigosas.

Todas estas atualizações e adaptações legislativas têm por objetivo fundamental assegurar que os transportes de mercadorias perigosas sejam realizados nas melhores condições de segurança possíveis, minimizando o risco de acidentes e melhorando os níveis de qualidade daqueles transportes, e aplica-se às operações de transporte de mercadorias perigosas, incluindo as operações de carga e de descarga, as transferências de um modo de transporte para outro (intermodal) e as paragens exigidas pelas condições do transporte, realizadas nas vias do domínio público, bem como em quaisquer outras vias abertas ao trânsito público.

No final do ano de 2021, mais concretamente a 17 de dezembro, foi publicada a Portaria n.º 309-A/2021, que aprova os anexos da Diretiva Delegada 2020/1833, da Comissão, de 2 de outubro de 2020, e introduz as modificações necessárias aos anexos I, II e III do Decreto-Lei n.º 41/2010, de 29 de abril, com as posteriores alterações. Simultaneamente, procedeu-se à condensação, sistematização e unificação de toda a legislação anterior referente aos transportes rodoviário e ferroviário de mercadorias perigosas.

As disposições constantes do anexo I (ADR) da presente legislação aplicam-se ao transporte rodoviário de mercadorias perigosas, ao passo que as disposições constantes do anexo II (RID) aplicam-se ao transporte ferroviário de mercadorias perigosas.

Nos próximos pontos abordar-se-ão os pontos mais importantes da regulamentação e das disposições legais a nível nacional, recaindo maiores atenções sobre o RID.

3.2.3. Acordos de derrogação

No âmbito do ADR e do RID, *“uma derrogação é uma provisão especial de uma diretiva comunitária que permite que esta última seja aplicada de modo diferente a certos grupos de indivíduos ou organizações. Uma derrogação não é uma exceção. Normalmente, apenas permite uma maior flexibilização na aplicação da lei ao tomar em consideração circunstâncias especiais”*.

Estas derrogações podem ser temporárias, tal como praticadas pelos países assinantes de acordo, no sentido de autorizarem o transporte de mercadorias perigosas nos seus territórios em condições distintas das que estão enunciadas na legislação.

A nível nacional, a prática é comum relativamente à língua oficial dos documentos, ao transporte de pequenas quantidades, transportes locais, transportes excecionais e aos conselheiros de segurança. Segundo o Decreto-Lei n.º 41-A/2010, de 29 de abril, na sua atual redação, é derogada a obrigatoriedade de utilizar uma das línguas oficiais do ADR ou RID nos documentos relativos a operações de transporte apenas no território nacional, sendo autorizada a utilização exclusiva da língua portuguesa. No que concerne aos transportes de pequenas quantidades, desde que não se comprometa a segurança, podem ser adotadas disposições menos severas que as previstas nos anexos I e II para as operações de transporte limitadas ao território nacional e que envolvam apenas pequenas quantidades de determinadas mercadorias, com exceção, no entanto, de matérias de média e alta radioatividade. Estas derrogações são autorizadas por deliberação do conselho diretivo do IMT, por período não superior a 6 anos, devendo ser comunicadas à Comissão Europeia.

Para transportes locais, podem também ser adotadas disposições distintas das previstas nos anexos I e II da legislação supracitada, desde que estas se limitem ao território nacional e se verifiquem as seguintes condições:

- Transportes locais em distâncias curtas; ou
- Transportes ferroviários locais em itinerários predefinidos, que se integrem num processo industrial específico e que estejam sujeitos a um controlo rigoroso em condições claramente definidas.

Podem ainda ser autorizados pelo IMT transportes excecionais de mercadorias perigosas proibidas pelos anexos I e II ou em condições diferentes das que ali se encontram previstas, somente em território nacional, desde que não seja comprometida a segurança e que correspondam a operações de transporte claramente definidas e limitadas no tempo.

Nas autorizações para a realização dos transportes excecionais referidos no número anterior, o IMT define as condições de segurança que devem ser preenchidas, em cada caso, pelos expedidores, transportadores, destinatários e demais intervenientes na operação de transporte, bem como a responsabilidade pelo seu incumprimento, podendo consultar previamente quer as entidades gestoras das infra-estruturas, quanto à viabilidade técnica do transporte ou ao itinerário a percorrer, quer outras entidades competentes, quanto à indispensabilidade e urgência do transporte.

Por último, aplica-se, a nível nacional, uma derrogação que confere isenção da obrigatoriedade de possuir um conselheiro de segurança a todas as empresas que efetuem ocasionalmente transporte nacional de mercadorias perigosas ou operações de carga ou de descarga ligadas a esse tipo de transporte, até ao limite de 50 toneladas por ano. É também dispensado este elemento às empresas que são somente destinatárias de operações de transporte nacional de mercadorias perigosas.

3.2.4. Conselheiro de segurança e relatórios de acidente

O Decreto-Lei n.º 41-A/2010, de 29 de abril, na sua atual redação, revogou os Decretos-Lei n.º 322/2000, de 29 de dezembro, e no 189/2006, de 22 de setembro, que estabeleciam o regime jurídico dos conselheiros de segurança do transporte de mercadorias perigosas, mas mantém a obrigatoriedade da presença destes elementos em empresas abrangidas por esta normativa.

A função de conselheiro pode ser exercida pelo responsável da empresa², por uma pessoa que desempenhe outras tarefas na empresa ou por uma pessoa que não pertença à empresa, mas que, em todos os casos, seja titular de um certificado de formação profissional, capacitado de cumprimento das tarefas de conselheiro.

Os conselheiros de segurança têm como função essencial recorrer a todos os meios e promover todas as ações, dentro do âmbito da atividade das empresas, para garantir o cumprimento da regulamentação aplicável ao transporte, carga, descarga, enchimento, acondicionamento e estiva de mercadorias perigosas. As empresas cuja atividade inclua operações de expedição ou transporte de mercadorias perigosas por estrada, via navegável ou caminho-de-ferro, ou procedam a operações de embalagem, carga, enchimento ou descarga ligadas a esses transportes, devem nomear um ou vários conselheiros de segurança, encarregados de prevenir a ocorrência de acidentes que envolvam as pessoas, os bens e o ambiente, mas que também devem colaborar de forma ativa na sua gestão, caso ocorram, elaborando os respetivos relatórios de acidente.

Estes relatórios são elaborados pelo conselheiro de segurança sempre que, durante um transporte ou uma operação de carga ou descarga, acondicionamento ou estiva, ocorra um acidente que afete ou crie perigo para as pessoas, os bens ou o ambiente. O relatório em causa é apresentado ao responsável da empresa, mantendo o mesmo à disposição das autoridades competentes, IMT ou órgãos policiais, por exemplo.

As tarefas dos conselheiros incluem igualmente o acompanhamento e verificação das seguintes práticas e procedimentos relativos às atividades relevantes da empresa:

² Responsável da empresa: pessoa que exerce funções de gestão reconhecida como tal nos termos da lei civil ou comercial.

- Procedimentos de cumprimento das regras relativas à identificação das mercadorias perigosas transportadas;
- Prática da empresa, em matéria de avaliação de requisitos especiais das mercadorias perigosas necessários quando da aquisição de meios de transporte;
- Procedimentos que permitam verificar as boas condições do material utilizado no transporte de mercadorias perigosas ou nas operações de carga ou de descarga;
- Formação apropriada do pessoal da empresa envolvido, incluindo o registo dessa formação no processo individual de cada elemento;
- Implementação de procedimentos de emergência escritos apropriados aos eventuais acidentes ou incidentes que possam pôr em perigo a segurança durante o transporte de mercadorias perigosas ou durante as operações de carga ou de descarga;
- Análise dos acidentes, incidentes ou infrações graves verificadas durante o transporte de mercadorias perigosas, ou durante as operações de carga ou descarga, acondicionamento ou estiva;
- Implementação de medidas apropriadas para evitar a repetição de acidentes, incidentes ou infrações graves;
- No que se refere à seleção de empresas a subcontratar para serviços de transporte ou de outros prestadores de serviços, tomar em conta a legislação e os requisitos especiais relativos ao transporte de mercadorias perigosas;
- Verificação de que o pessoal afeto ao transporte de mercadorias perigosas ou à carga ou descarga dessas mercadorias dispõe de meios de execução e de instruções pormenorizadas;
- Lançamento de ações de sensibilização para os riscos inerentes ao transporte de mercadorias perigosas ou à carga ou descarga dessas mercadorias;
- Criação de mecanismos de verificação da presença, a bordo dos meios de transporte, dos documentos e equipamentos de segurança que devem acompanhar os transportes e da conformidade desses documentos e equipamentos com a regulamentação;
- Criação de mecanismos de verificação do cumprimento das boas regras relativas às operações de carga, descarga, acondicionamento ou estiva;
- Garantia das adequadas condições de segurança dos equipamentos a submeter a inspeções e ensaios por parte dos organismos de inspeção.

Em suma, os conselheiros de segurança devem verificar o cumprimento e adoção de todas as medidas exigidas pela legislação relativa ao transporte de mercadorias perigosas, aconselhar as

empresas nas operações relacionadas com o transporte destas substâncias e, ainda, elaborar os relatórios anuais de segurança, para além dos de acidente.

3.2.5. Sinalização e marcações

Uma das disposições mais importantes impostas pela regulamentação ADR/RID diz respeito à colocação de etiquetas de perigo, marcação de volumes e sinalização de veículos, nomeadamente, com painéis laranja (Aggarwal *et al.*, 2012).

As etiquetas de perigo apresentam ilustrações que pretendem transmitir ao público não especializado uma noção intuitiva do perigo da matéria. As etiquetas apresentam ainda cores de fundo diversificadas que têm como função identificar os diferentes tipos de perigos de acordo com uma codificação internacional estabelecida. Assim, por exemplo, o verde significa que as matérias não são inflamáveis nem tóxicas.

As etiquetas são também elementos auxiliares no trabalho do pessoal de carregamento, isto é, na necessidade de separar certas cargas que podem reagir perigosamente umas com as outras ou, mesmo, verificar situações de incompatibilidade no transporte.

As etiquetas devem ser colocadas nos volumes de maneira que não sejam cobertas por qualquer parte ou elemento da embalagem ou por qualquer outra etiqueta ou marca. De acordo com a regulamentação, estas, quando for necessário mais do que uma etiqueta, devem ser colocadas umas ao lado das outras.

Todas as etiquetas devem ser colocadas na mesma superfície do volume, se as dimensões do volume o permitirem; para os volumes da classe 1 e 7, próximo da marca indicando a designação oficial de transporte.

A determinação das interdições de carregamento em comum, num mesmo veículo, é baseada, nas etiquetas de perigo.

Todas as etiquetas devem ter a forma de um quadrado apoiado numa ponta (em losango) e dimensões mínimas de 100 mm x 100 mm. Devem ter uma linha traçada a 5 mm de distância no interior do bordo. Na metade superior da etiqueta a linha deve ter a mesma cor que o símbolo convencional e a metade inferior deve ter a mesma cor que o número do canto inferior. As etiquetas devem ser aplicadas sobre um fundo de cor contrastante ou ter uma cercadura em traço contínuo ou tracejado. Se a dimensão do volume o exigir, as etiquetas podem ter dimensões reduzidas, na condição de continuarem bem visíveis.

A etiquetagem das mercadorias é, segundo a legislação nacional, da inteira responsabilidade da entidade expedidora da mercadoria.

Na regulamentação aplicável ao transporte de mercadorias perigosas por ferrovia, e também aos outros modos de transporte, os modelos de etiquetas são, por exemplo, os seguintes:



Figura 12. Exemplo de Etiquetas de Perigo (Classe 4.1, 4.2, 4.3) | Fonte: ADR / RID

O ADR / RID prevê ainda disposições especiais para marcação de matérias perigosas para o ambiente, ou seja, volumes que contenham substâncias com as características mencionadas anteriormente e que cumpram com os critérios do ponto 2.2.9.1.10 do ADR / RID. Nestas devem ostentar uma outra etiqueta adicional idêntica à apresentada na Figura 13, com exceção de embalagens simples e embalagens combinadas que incluam embalagens interiores com uma capacidade:

- Inferior ou igual a 5 litros no caso dos líquidos;
- Inferior ou igual a 5 kg no caso dos sólidos.



Figura 13. Etiqueta "Matéria perigosa para o ambiente" | Fonte: ADR / RID

O mesmo acontece com matérias que são transportadas a quente, cujas prescrições do ADR / RID estabelecem que seja colocada uma placa-etiqueta, de cada lado e à retaguarda do veículo, cisterna, contentor, de forma triangular cujos lados meçam pelo menos 250 mm e que deve ser representada a vermelha conforme indicado na Figura 14:



Figura 14. Etiqueta "Matéria transportada a quente" | Fonte: ADR / RID

Os veículos (rodoviário), contentores, contentores de gás de elementos múltiplos (CGEM), contentores-cisternas e cisternas móveis devem, paralelamente, ser dotados de um segundo meio de identificação, o painel laranja, idêntico ao da Figura 15. As unidades de transporte que transitam com mercadorias perigosas devem possuir, dispostos num plano vertical, dois painéis retangulares cor de laranja. O painel laranja divide-se em duas áreas distintas que apresentam números com significados e definições diferentes. Os números que compõem a parte de cima destes painéis são definidos como sendo os números de perigo, ao passo que, os números inferiores, simbolizam o número ONU, elemento identificativo da matéria transportada (Santos & Neves, 2005).

O número de identificação de perigo e o número ONU utilizados nas cisternas e nos transportes a granel devem ser constituídos por algarismos de cor preta, de 100 mm de altura e de 15 mm de espessura. O número de identificação de perigo, inscrito na parte superior do painel, e o número ONU, na parte inferior, devem ser separados por uma linha de cor preta horizontal de 15 mm de espessura que atravesse o painel a meia altura. O número de identificação de perigo e o número ONU devem ser indelévels e permanecerem visíveis após um incêndio com a duração de 15 minutos. Os painéis só devem ser colocados enquanto dura o transporte de alguma mercadoria perigosa. Depois de descarregada a mercadoria perigosa, e se não tiverem ficado resíduos no veículo, os painéis devem ser retirados ou ocultados (Assembleia da República, 2010).

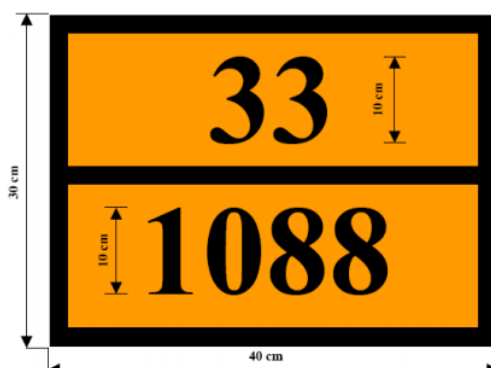


Figura 15. Exemplo de Painel Laranja | Fonte: intervir.pt

No que concerne ainda aos números de perigo e números ONU, os primeiros podem ser compostos por dois ou três algarismos que indicam os seguintes perigos:

2. Gás;
3. Líquido Inflamável;
4. Sólido Inflamável;
5. Comburente;
6. Tóxico ou infeccioso;
7. Radioativo;
8. Corrosivo;

9. Matéria perigosa diversa.

A repetição de um algarismo no número de perigo representa o agravamento do perigo em causa, por exemplo, caso o número de perigo seja “33”, significa que a matéria é muito inflamável (Santos & Neves, 2005).

3.2.6. Documentação de transporte

A regulamentação ADR/RID estabelece que, em qualquer transporte, as unidades de transporte devem ser munidas de documentação específica, nomeadamente:

- Documentação de transporte para as mercadorias perigosas e informações que lhe dizem respeito, em conformidade com o ponto 5.4.1 da regulamentação, nomeadamente:
 - O número ONU precedido pelas letras “UN”;
 - A designação oficial de transporte, completado, com o nome técnico entre parêntesis;
 - Modelos de etiquetas de perigo (caso exigido);
 - Caso exigido, o grupo de embalagem (GE) atribuído à matéria, precedido das letras “GE”;
 - Número e a descrição de volumes;
 - Quantidade total de mercadoria perigosa transportada, caracterizada pelos números ONU respetivos, expressa em volume, em massa bruta ou em massa líquida, consoante o tipo de matéria;
 - Nome e endereço do expedidor;
 - Nome e endereço do destinatário;
 - Número de identificação de perigo.
- Certificado de carregamento do contentor, quando aplicável;
- Documento de identificação dos membros da tripulação;
- Certificado de aprovação visado para cada unidade de transporte;
- Certificado de formação do condutor (rodoviário);
- Instruções Escritas (se embalagem de socorro);
- Alguma autorização especial ou disposições de algum acordo especial.

Em caso de acidente, esta documentação, paralelamente à sinalização e demais marcações, poderá contribuir para a identificação da(s) matéria(s) envolvida(s) bem como dos principais riscos associados à(s) mesma(s). O conhecimento prévio destas informações condicionará todo o

desenrolar de uma operação de proteção e socorro, sendo de vital importância para a gestão de emergência.

3.2.7. Outros aspetos relevantes da regulamentação

A regulamentação em matéria de ADR / RID é densa, detalhada e complexa, não se justificando fazer aqui a apresentação completa e detalhada da mesma. Por essa razão, o presente ponto destacará, sumariamente, outros aspetos que são igualmente mencionados na regulamentação e que merecem uma breve apresentação.

O primeiro ponto a destacar prende-se ao facto de os condutores de veículos rodoviários que efetuem o transporte de matérias perigosas necessitarem de serem certificados, possuindo uma formação adequada e específica (Barkan *et al.*, 2001; Yilmaz *et al.*, 2016). Também os elementos que efetuem cargas e descargas destas matérias carecem de formação especializada. A obrigatoriedade da frequência destas ações de formação e da certificação destes elementos tem como objetivo a sensibilização para os riscos associados a esta atividade, a necessidade imperiosa do cumprimento das regras de segurança e os cuidados a ter para prevenir acidentes, mas, também, os procedimentos a ter em conta quando eles acontecem.

Ainda no âmbito dos recursos humanos, os transportes de mercadorias abrangidos pelo ADR/RID estabelecem a obrigatoriedade das unidades de transporte e respetivas tripulações efetuarem o mesmo dotadas de EPI ou coletiva, entre os quais, sinais de aviso portáteis, líquido de lavagem para olhos, coletes ou fatos retrorrefletores, aparelho de iluminação portátil, luvas de proteção, proteção ocular, máscara de proteção antigás, proteção para grelhas de esgotos ou equipamentos de extinção de incêndios, como extintores, por exemplo. As exigências neste âmbito diferem mediante o tipo de matéria(s) transportada(s).

Já num quadrante de recursos materiais, o ADR/RID define um conjunto alargado de requisitos no que concerne aos elementos necessários para o acondicionamento das matérias durante o transporte, especificando para cada uma das matérias perigosas o tipo de embalagem que deve ser utilizada, as suas características e materiais constituintes, bem como os respetivos limites de carga em cada transporte.

No âmbito da embalagem, o ADR/RID estabelece ainda uma hierarquia de perigosidade, como três grupos de embalagem (GE) distintos:

- GE I: Matérias muito perigosas;
- GE II: Matérias medianamente perigosas;
- GE III: Matérias pouco perigosas.

Embora menos expedito, o grupo de embalagem, uma vez que é assinalado e demarcado nos recipientes através de sinalização própria, também poderá ser um meio para aferir a perigosidade de uma dada matéria em caso de acidente pelas equipas de socorro e proteção civil.

Não menos importante é a organização das matérias no transporte, no caso de existir mais do que uma. Por forma a não potenciar os efeitos nefastos em caso de acidente, nomeadamente, através de reações químicas perigosas entre matérias envolvidas no transporte, o ADR/RID estabelece um quadro de interdições de carregamento comum. Assim, os volumes munidos de etiquetas de perigo distintas não podem ser carregados em comum no mesmo veículo ou contentor, a menos que haja autorização especial por parte das entidades competentes.

A título de exemplo e no caso particular da ferrovia, de acordo com o ponto 7.5.3 do RID, os vagões ou grandes contentores que contenham matérias ou objetos da classe 1 devem ser separados, no mesmo comboio, por uma distância de proteção dos vagões ou grandes contentores com matérias das classes 2.1, 3, 4.1, 4.2, 4.3, 5.1 ou 5.2. A distância requerida é de, pelo menos, 18 metros, ou, em alternativa, a distância correspondente a dois vagões de dois eixos ou a um vagão de quatro ou mais eixos.

3.3. Síntese do capítulo

É impossível proceder à mitigação de qualquer risco se não forem conhecidas as suas características, bem como o seu dano ou efeitos potenciais (Julião *et al.*, 2009; Bullock *et al.*, 2020).

Nesse pressuposto, o presente capítulo apresentou um conjunto de estatísticas relativas ao transporte de matérias e substâncias perigosas em três zonas geográficas, Portugal, União Europeia e Estados Unidos da América, este último, pela sua relevância a nível mundial.

O estudo e a análise dos conjuntos de dados apresentados forneceram importantes pistas para a caracterização dos potenciais e principais perigos existentes no transporte destas substâncias (Gitelman & Hakkert, 1997).

Em todas as áreas estudadas, detetaram-se tendências que demonstram a preferência pelos meios terrestres para o transporte destas substâncias, principalmente, pela rodovia e por infraestruturas fixas, vulgo *pipelines*. A ferrovia, sendo também um meio terrestre, acaba, portanto, por ser uma terceira opção, numa ordem hierárquica de importância e/ou utilização.

Ao transporte de matérias perigosas por rodovia corresponde um risco de acidente mais disperso territorialmente, ainda que com efeitos que podem ser menores comparativamente ao ferroviário, sobretudo. Por outro lado, a utilização de infraestruturas fixas, como *pipelines*, é acompanhada de maiores riscos, sobretudo, de natureza social, por exemplo, devido a sabotagens ou ataques terroristas. Os dados estatísticos apresentados revelaram que grande parte das

matérias perigosas transportadas são gases e líquidos inflamáveis, enquadradas nas classes 2 e 3 consagradas no ADR/RID, respetivamente. Atendendo a esse facto, é expectável que grande parte dos cenários de acidentes que envolvam matérias perigosas produzam, principalmente, efeitos térmicos (Crocker & Napier, 1986). Há também que destacar as emissões poluentes e potencialmente tóxicas e a sua propagação a grandes distâncias pelo ar.

Por outro lado, uma menor diversidade de classes de matérias a circular restringe o espectro de fenómenos passíveis de ocorrer, possibilitando estudos mais detalhados e concentrados nos riscos existentes e mais frequentes. Tais factos têm, naturalmente, grandes impactos no planeamento e gestão de acidentes com matérias perigosas, em todo o seu ciclo, desde a prevenção até à recuperação (Lindell *et al.*, 2006; Jaffin, 2020).

De todas as fases do ciclo de emergência no âmbito do transporte de matérias perigosas, a prevenção acabou por ser a mais trabalhada, tendo contribuído para essa realidade a implementação de normas e regulamentos, como o ADR e o RID, para evitar e limitar as consequências no caso de ocorrência de acidentes. À semelhança de outras, as regulamentações comunitárias abarcaram um conjunto de regras que pretendem evitar acidentes, não só nos trajetos, mas também nas ações de carga, descarga e manuseamento das matérias. Prescrições referentes ao acondicionamento das matérias e à sua distribuição nos elementos de transporte (distribuição da carga nos eixos ou cisternas subcompartimentadas, por exemplo) têm evitado muitos incidentes.

Para além disso, as prescrições das regulamentações existentes no âmbito do transporte de matérias perigosas também muito contribuíram para facilitar o processo de planeamento e gestão de emergência num cenário de acidente desta índole, nomeadamente, através da sinalização dos elementos de transporte. Esta fornece importantes pistas sobre os perigos potenciais das matérias envolvidas, o que condicionará, naturalmente, as ações a levar a cabo pelos meios de socorro e proteção civil (Chakrabarti & Parikh, 2012; Jaffin, 2020). Outros aspetos, tais como a definição de incompatibilidades no transporte entre determinadas matérias, também concorre no processo de evitar a majoração de efeitos nefastos em caso de acidente, nomeadamente, nas possíveis reações perigosas entre determinadas matérias.

Demonstrada que está a importância de se conhecer os riscos de uma forma prévia, o próximo capítulo refinará ainda mais a informação apresentada, cingindo-se, somente, à área em estudo, dando conta das estatísticas de transporte existentes para a linha de Leixões, objeto de estudo da presente dissertação, bem como a caracterização local, para melhor conhecer as condições existentes e contribuir para um planeamento de emergência mais focado e adequado às suas particularidades.

Capítulo 4 – Problema investigado e caracterização da área em estudo

4.1. Problema sob investigação

O presente trabalho procura explorar diferentes vertentes relacionadas com a gestão operacional e de emergência num contexto de um acidente com matérias perigosas. Para o efeito, e por ter uma relação histórica com as indústrias que produzem, manipulam e/ou transportam regularmente tais produtos, selecionou-se Matosinhos como concelho onde se focará o estudo.

Por outro lado, por aí se situar uma das principais e mais antigas vias de comunicação para trânsito de matérias perigosas, a linha ferroviária de Leixões, será em torno dela que se desenvolverá todo o processo de averiguação, de simulação e de análise que se fará no próximo capítulo.

Por agora, é importante caracterizar mais detalhadamente o problema que se propõe a estudo, bem como a área geográfica em que o mesmo incide.

Entretanto, a linha ferroviária de Leixões tem uma grande importância a nível económico, mas também representa perigos e riscos para o território e suas populações, pelo que o estudo será orientado para a investigação de:

- Cenários mais prováveis de ocorrência de acidentes com matérias perigosas na Linha de Leixões;
- Impactos expectáveis nos principais elementos expostos, especialmente, população, edifícios e equipamentos sociais, como escolas, serviços ou unidades de saúde;
- Influência das características e particularidades locais do concelho no desenvolvimento e gestão de um acidente com matérias perigosas;
- Efeitos e condicionalismos das características locais e da infraestrutura na gestão operacional e de emergência, em caso de acidente na linha;
- Adequação dos instrumentos de gestão operacional e de emergência atuais para cenários desta natureza;
- Melhorias futuras no âmbito da prevenção e limitação dos efeitos de acidente com matérias perigosas na linha de Leixões.

Por agora, caracterize-se a área geográfica em causa e a infraestrutura selecionada para, no capítulo seguinte, se discutirem de forma sustentada as questões antes referidas.

4.2. Caracterização do concelho de Matosinhos

4.2.1. Aspetos Físicos

4.2.1.1. Enquadramento Geográfico

O concelho de Matosinhos localiza-se no noroeste de Portugal Continental e integra a Região Norte (NUT II³) e a Área Metropolitana do Porto (AMP), sendo limitado a norte pelo concelho de Vila do Conde, a este pelo concelho da Maia, a sul pelo concelho do Porto e, por fim, a oeste pelo Oceano Atlântico. O município de Matosinhos possui uma área de, aproximadamente, 62 km², segundo dados do Pordata (2019). Apresenta-se, de seguida, uma figura que reflete o enquadramento do concelho de Matosinhos a nível nacional e regional (ver Figura 16):

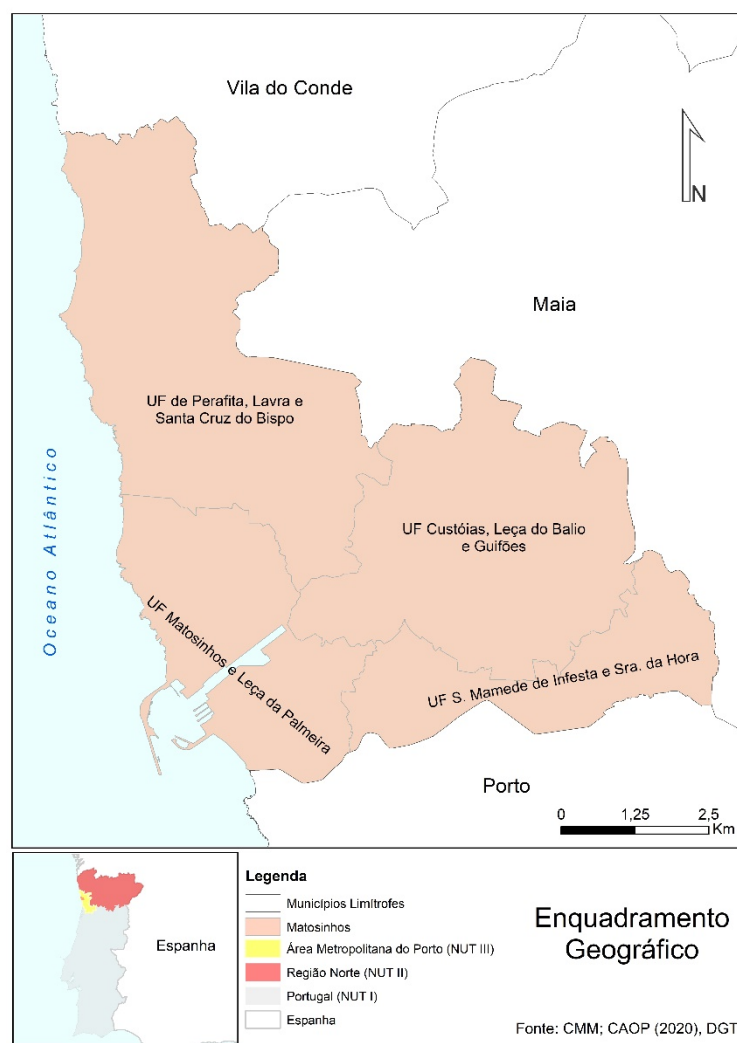


Figura 16. Enquadramento geográfico de Matosinhos

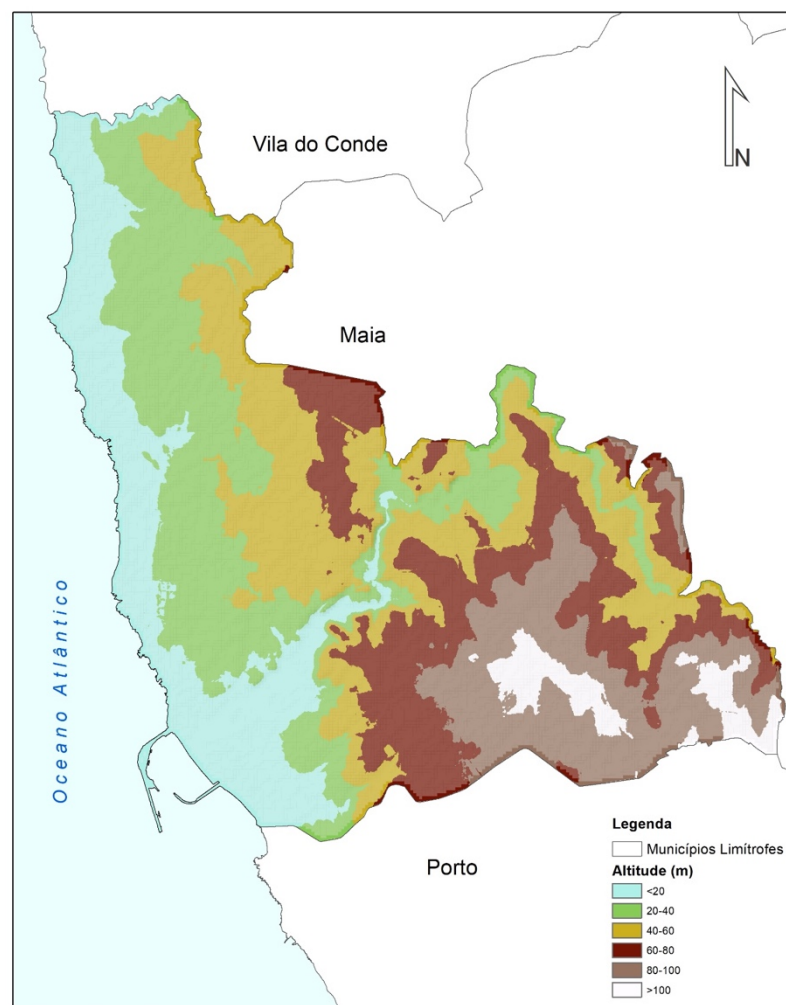
Após a reforma administrativa levada a cabo em Portugal, no ano de 2008, o município de Matosinhos passou a contar com 4 uniões de freguesias: Custóias, Leça do Balio e Guifões;

³ Nomenclatura de Unidades Territoriais para Fins Estatísticos

Matosinhos e Leça da Palmeira; Perafita, Lavra e Santa Cruz do Bispo; S. Mamede de Infesta e Senhora da Hora.

4.2.1.2. Relevo

O município de Matosinhos, a oeste, possui uma extensão linha de costa, com cerca de 12 km, que, na sua grande maioria, é constituída por praias. Nestas áreas, a altitude média é muito baixa, sendo inferior a 15 metros. No restante, de uma forma genérica, o concelho não apresenta altitudes muito elevadas, centrando-se numa média de 48,5 metros em todo o território. Por conseguinte, os declives existentes são, maioritariamente, muito suaves e pouco acentuados. No entanto, as áreas do vale do Leça, onde percorre o Rio Leça, no sentido nordeste-sudoeste, o terreno já apresenta declives mais acentuados, com altitudes que podem variar entre os 65 e os 110 metros, conforme se pode observar na Figura 17:



Hipsometria

Fonte: CMM; CAOP (2020), DGT

0 1,5 3 Km

Figura 17. Carta hipsométrica do município de Matosinhos

4.2.1.3. Hidrografia

A grande maioria do território do concelho de Matosinhos desenvolve-se em torno da bacia hidrográfica do Rio Leça. Este rio tem cerca de 44,80 km de comprimento, 16 dos quais no território matosinhense. Este inicia o seu percurso em Matosinhos, na zona de S. Mamede de Infesta, e percorre territórios sobretudo da União de Freguesias de Custóias, Leça de Balio e Guifões, constituindo uma fronteira natural com o concelho da Maia, até desaguar no Porto de Leixões. Este é servido por alguns afluentes dentro do concelho, nomeadamente, o ribeiro de Picoutos, a ribeira das Avestas, o ribeiro de Esposade e a ribeira da Lomba. No extremo norte do concelho também se verifica a existência da ribeira da Onda ou Calvelhe, constituindo-se como uma barreira natural entre os concelhos de Matosinhos e Vila do Conde. A restante área do concelho apresenta outras linhas de água relativamente importantes, tais como o conjunto dos ribeiros do Funtão e da Carreira, o conjunto de ribeiros de Joane e do Cão e, nas áreas mais urbanas, o conjunto dos ribeiros da Biquinha e de Carcavelos. Saliente-se que algumas destas linhas de água são não permanentes, surgindo somente aquando dos períodos de maior pluviosidade (Ver Figura 18):

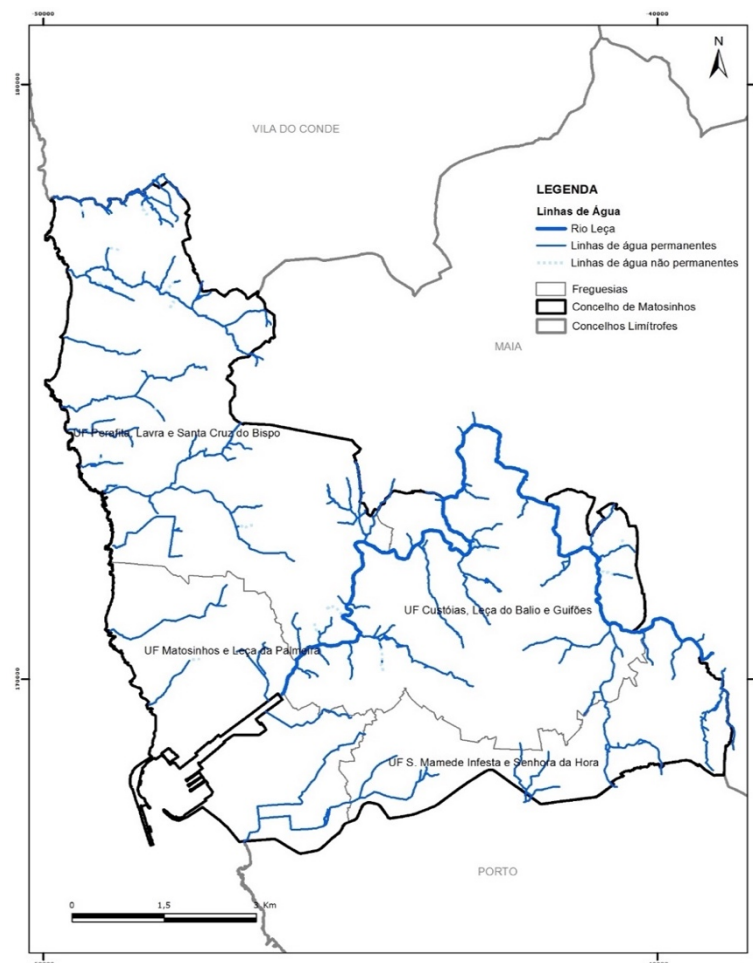


Figura 18. Carta hidrográfica do concelho de Matosinhos | Fonte: PMEPC Matosinhos

4.2.1.4. Ocupação do Solo

Matosinhos é um concelho heterogéneo no que concerne à ocupação do seu território, verificando-se uma demarcada clivagem entre as zonas norte e sul do concelho. A zona sul é fortemente urbanizada, contribuindo de forma muito significativa para uma expressão de 33% de tecido urbano no concelho. Tal facto deve-se, em parte, à proximidade geográfica à segunda maior cidade do país, o Porto, e, por outro lado, à atratividade do concelho para a fixação da indústria e comércio, que, por si, ocupam cerca de 20% do território concelhio. Apenso a estas circunstâncias está também a habitação, registando-se importantes manchas urbanas, sobretudo nas freguesias de Matosinhos, Leça da Palmeira, Senhora da Hora e S. Mamede de Infesta. Em contraste, a superfície norte do concelho é, maioritariamente, ocupada por atividades agrícolas, numa percentagem que ronda os 25%, ao passo que as manchas florestais totalizam cerca de 15% da superfície do território. À semelhança das atividades agrícolas, as manchas florestais mais significativas localizam-se a norte do concelho, mas, também, a este, na zona do vale do Leça, conforme se pode verificar na seguinte figura (Ver Figura 19):

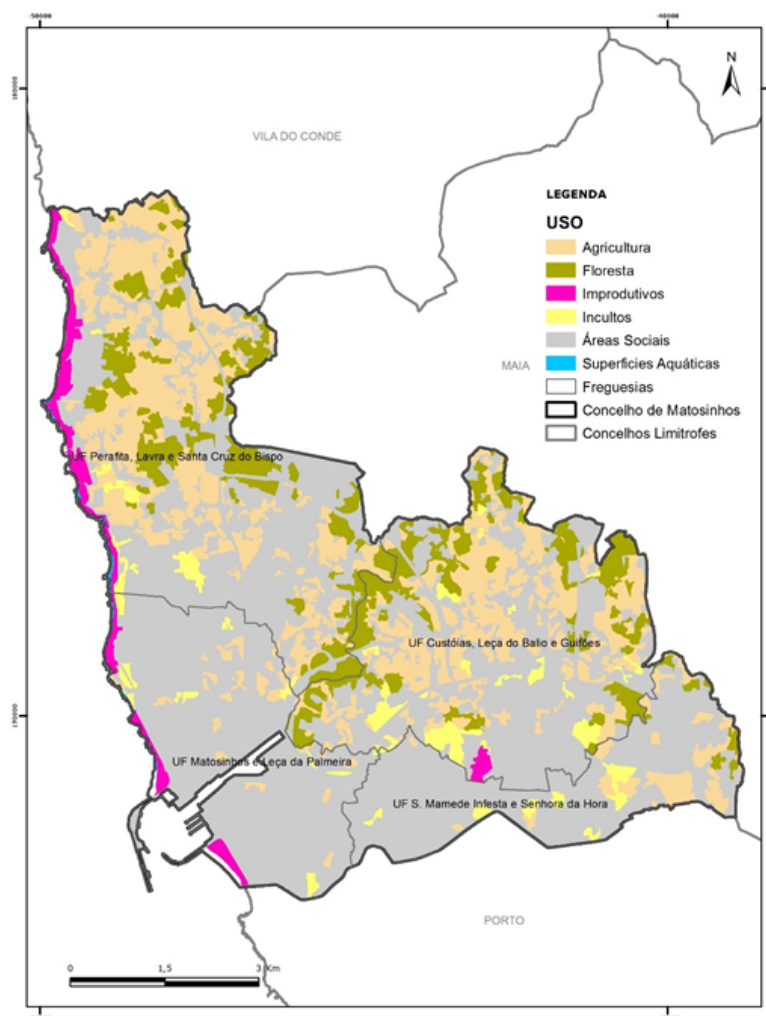


Figura 19. Ocupação do solo em Matosinhos | Fonte: PMEPC Matosinhos

Na sua maioria, as áreas florestais existentes são constituídas por pinheiro-bravo e eucalipto, com uma tendência observada de crescimento desta última em detrimento de outras espécies florestais. Na faixa litoral existem também algumas pequenas manchas florestais e alguns exemplares dispersos de pinheiro manso.

Além das tipologias de ocupação já referidas e que caracterizam 93% do território, é de salientar que existe cerca de 2% da superfície ocupada por meios naturais que, na sua quase totalidade, correspondem a praias, 1,7% ocupados por espaços verdes urbanos e equipamentos públicos, 1,9% com estaleiros e extração de inertes e cerca de 1% por corpos de água.

4.2.1.5. Clima

O município de Matosinhos apresenta um clima temperado segundo a classificação climática de Köppen, com um verão seco e suave. Devido ao efeito de proximidade ao Oceano Atlântico, as amplitudes térmicas são relativamente pequenas, com uma temperatura média anual de cerca de 15°C para o período compreendido entre 2010 e 2019. As temperaturas mais altas verificam-se entre os meses de junho e setembro e as mais baixas entre novembro e fevereiro, de acordo com a Figura 20. No período em análise, o valor de temperatura mais baixa registado foi de 0°C, ao passo que a mais elevada foi de 43,1°C. Relativamente à precipitação, foi no Inverno que se registaram os maiores acumulados de precipitação. No entanto, também a primeira metade da primavera e a meio de setembro também se registaram valores significativos nos valores de precipitação acumulada (Ver Figura 20).

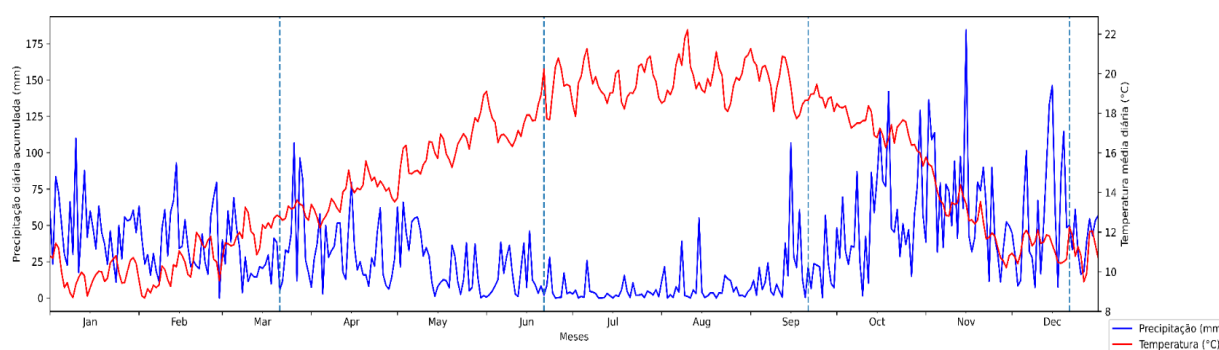


Figura 20. Dados de Temperatura e Precipitação em Matosinhos (2010 - 2019) | Fonte: Ogimet.com

Devido à sua proximidade ao Oceano Atlântico, os níveis de humidade relativa do ar em Matosinhos são elevados, apresentando uma média anual de 71,6%, sendo que os valores mais baixos se verificam em março, abril e agosto. Em sentido oposto, os valores mais altos de humidade relativa do ar ocorrem durante o outono e a primeira metade do Inverno, conforme Figura 21. Ao nível da radiação solar e do coberto de nuvens, atendendo a que estas condições são muito influenciadas pelo fluxo solar e pelos níveis de precipitação, registaram-se valores mais

significativos de radiação solar em dias com fluxos solares superiores e baixo índice de cobertura de nuvens. Por outro lado, quando os valores de precipitação são mais elevados, está associada a ocorrência de períodos de maior nebulosidade (Ver Figura 22):

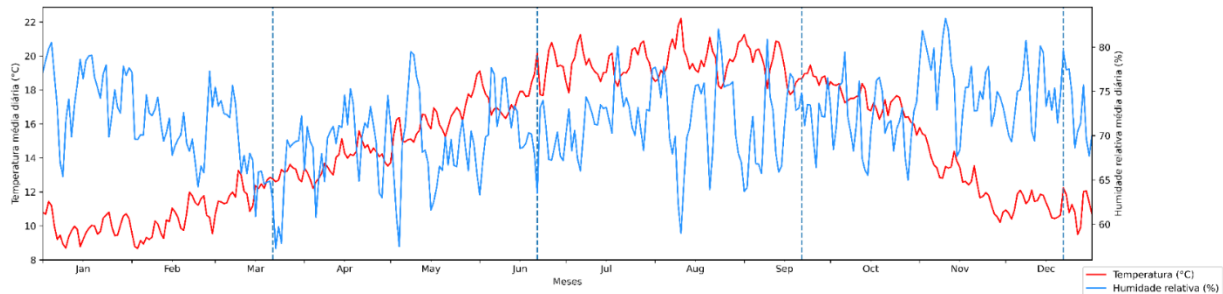


Figura 21. Dados de temperatura e humidade relativa em Matosinhos (2010 – 2019) | Fonte: Ogimet.com

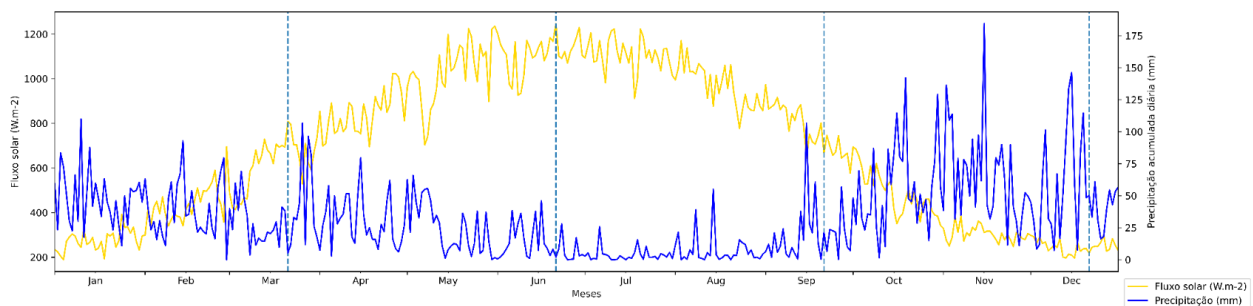


Figura 22. Dados de fluxo solar e precipitação em Matosinhos (2010 - 2019) | Fonte: Ogimet.com

Relativamente ao vento, uma vez mais, o concelho matosinhense sofre forte influência do Oceano Atlântico, sendo frequente a ocorrência de brisas marítimas / terrestres que podem ser observadas nos padrões das rosas dos ventos (Figura 23b a d). Durante a noite (Ver Figura 23b), o vento sopra com mais frequência de Leste, sendo o período do dia que regista mais períodos de calmaria. No período da manhã (Ver Figura 23c), o vento inicia a transição soprando com maior frequência dos quadrantes Leste e Sul nas primeiras horas e, progressivamente, mais para o quadrante Noroeste. No período da tarde e início da tarde, o vento sopra mais predominantemente do quadrante Noroeste, vulgo nortadas. Neste período, os ventos sopram sempre com maior intensidade em comparação com os períodos da noite e da manhã.

Por outro lado, verifica-se a existência de padrões sazonais visíveis nas rosas dos ventos (Ver Figura 23e a h). Na Primavera e no Verão os ventos sopram predominantemente do quadrante noroeste e com velocidades de vento elevadas durante maiores períodos, em relação ao Outono e Inverno. Nestes últimos, os ventos são provenientes, sobretudo, do quadrante Leste. Esta variação sazonal dos ventos ocorre porque a Península Ibérica está sob o efeito, quase constante, do sistema de altas pressões dos Açores (anticiclone dos Açores) e de um sistema térmico de baixa pressão no interior da Península Ibérica, o que tem uma influência muito grande nas condições meteorológicas de Portugal Continental (Soares *et al.* , 2014).

Da análise da Figura 23, poder-se-á afirmar que existem dois padrões base para o comportamento dos ventos, sendo agrupados em Inverno/Outono e Primavera/Verão:

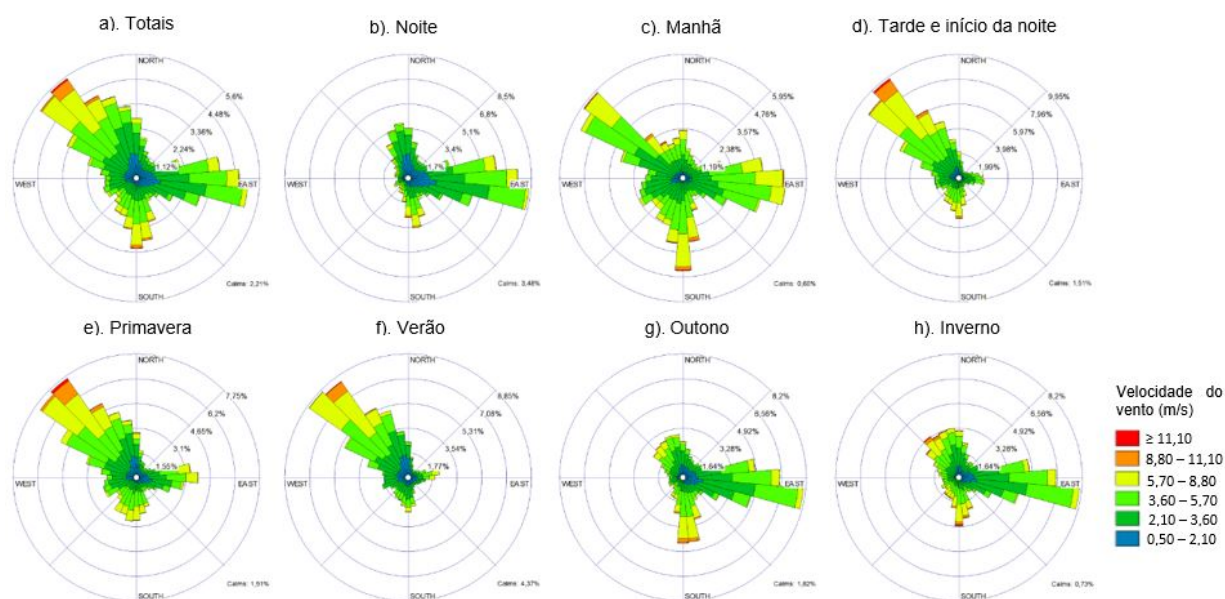


Figura 23. Rosa dos Ventos em Matosinhos por alturas do dia e estações do ano | Fonte: Ogimet.com

4.2.2. Aspetos socioeconómicos

4.2.2.1. População

Em termos populacionais, desde 1864, data do primeiro recenseamento nacional, que Matosinhos tem crescido de uma forma constante (Instituto Nacional de Estatística, 2011a). No presente caso, foram analisados os últimos 50 anos, isto é, os recenseamentos realizados entre 1970 e 2021⁴ (ver Figura 24):

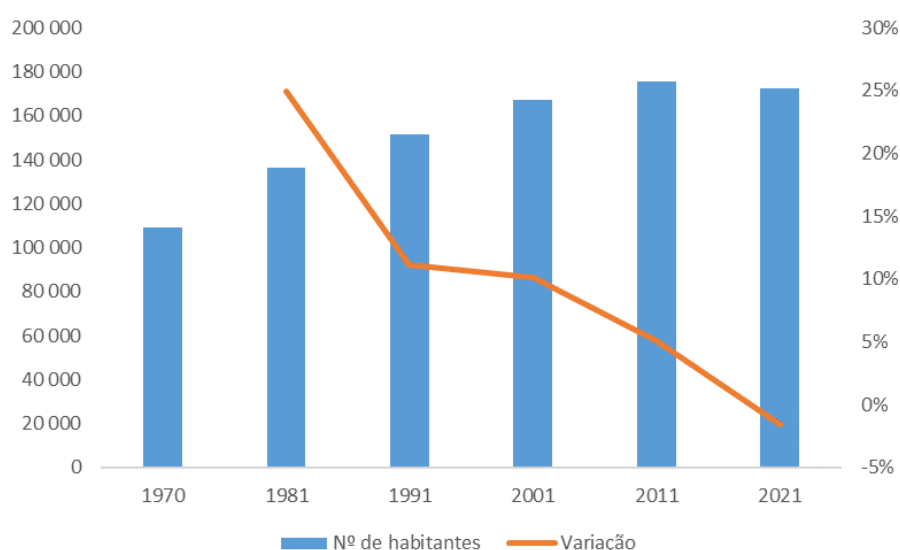


Figura 24. Evolução da população em Matosinhos (1970 - 2021) | Fonte: INE

⁴ Os dados apresentados para 2021 dizem respeito a resultados preliminares dos *Census 2021*, disponíveis em: https://www.ine.pt/scripts/db_censos_2021.html

Nos recenseamentos em análise, verificou-se uma tendência crescente no número de residentes no concelho sendo que o maior crescimento se verificou entre 1970 e 1981, com um incremento na população de 24,97%. No entanto, nos anos seguintes, à exceção de 2021, a tendência de crescimento do número de habitantes, apesar de crescente, assumiu valores continuamente inferiores, até a um mínimo de 5,06% registado em 2011. Em 2021, porém, a tendência na variação inverteu-se, tendo-se observado, pela primeira vez, desde 1864, um decréscimo de população. Os resultados preliminares do *Census 2021* apontam para uma variação negativa de 1,60%, passando o concelho 175.478 para 172.669 habitantes, o que acompanha uma tendência observada a nível nacional (Instituto Nacional de Estatística, 2021). Esta diminuição no número de residentes no concelho reflete-se, naturalmente, no valor da densidade populacional do concelho, diminuindo dos 2830 habitantes/km² (2011) para os 2785 habitantes/km² (2021), aproximadamente.

Ao nível da distribuição espacial da população residente pelo município, esta faz-se de uma forma muito heterogénea, conforme se pode verificar na Figura 25:



Figura 25. Densidade populacional no concelho de Matosinhos

A população residente concentra-se, maioritariamente, na zona sul do concelho, com especial incidência nas Uniãos de Freguesia de S. Mamede de Infesta e Senhora da Hora e Matosinhos e Leça da Palmeira, com densidades populacionais que oscilam entre os 2338 habitantes/km² e os 5700 habitantes/km². A oeste do concelho, na União de Freguesias de Custóias, Leça do Balio e Guifões, a densidade populacional é mais aproximada aos valores médios do concelho, ao passo que, a zona norte do território é a menos populosa, apresentando uma densidade populacional máxima de 1304 habitantes/km².

4.2.2.2. Atividades económicas, redes e infraestruturas

O município de Matosinhos possui uma ligação histórica à indústria e à atividade piscatória, no entanto, atualmente, o setor de comércio e serviços é aquele que é mais significativo e que detém a grande maioria dos postos de trabalho, sobretudo nas grandes superfícies comerciais. O setor primário assume um valor residual no que concerne à população empregada de Matosinhos, sendo de 0,6%, um valor significativamente abaixo da média nacional, que se situa nos 3,1%, o que reflete o carácter urbano e industrial do concelho. O setor secundário, por sua vez, absorve 20,6% da população empregada e, por fim, o setor terciário abarca 74,8%, acompanhando a tendência das grandes cidades a nível nacional (Instituto Nacional de Estatística, 2011b). No que concerne aos complexos industriais mais significativos, Matosinhos apresenta uma forte afinidade com a área das matérias e substâncias perigosas, nomeadamente, a CEPSA Portuguesa Petróleo, S.A., a Pergás – Armazenamento de Gás, A.C.E., a FATER Portugal e o Terminal Petrolífero de Leixões, sendo estes alguns exemplos de complexos enquadrados na Diretiva SEVESO (Agência Portuguesa do Ambiente, 2020). Outras entidades, como a BP Portuguesa e a Repsol (ambas do antigo Parque da Real), já desmaterializam as suas instalações no concelho, ao passo a Refinaria do Porto, pertencente à GALP Energia, encontra-se em vias de ser desmaterializada num futuro próximo.

No que diz respeito a redes e infraestruturas do concelho, Matosinhos é servido por múltiplas infraestruturas de relevo, como é o caso do Porto Marítimo de Leixões (2º maior do país), o Aeroporto do Porto (parte da sua área de implantação encontra-se em terreno matosinhense) e o terminal de cruzeiros, entre outras. Em termos de vias de comunicação, o concelho é servido por eixos viários que permitem estabelecer conexões a importantes cidades, como é o caso de Braga, Viana do Castelo ou Porto, através das Autoestradas (AE) A3, A4, A28, A41 ou Estradas Nacionais (EN) 13 e 14 (Sorte *et al.*, 2019).

No domínio da ferrovia, o concelho é servido por quatro linhas de metropolitano da Metro do Porto e uma ligação ferroviária tradicional para transporte de mercadorias que liga o porto marítimo local e Contumil, que é a Linha de Leixões.

Atualmente, esta tem apenas circulação de mercadorias, tendo havido serviço de passageiros até 1987 e entre maio de 2009 e janeiro de 2011 (Abrantes, 2021). No entanto, existem projetos e um conjunto de intenções no sentido de retomar este serviço.

É possível observar a distribuição geográfica de algumas destas estruturas na figura seguinte (ver Figura 26):

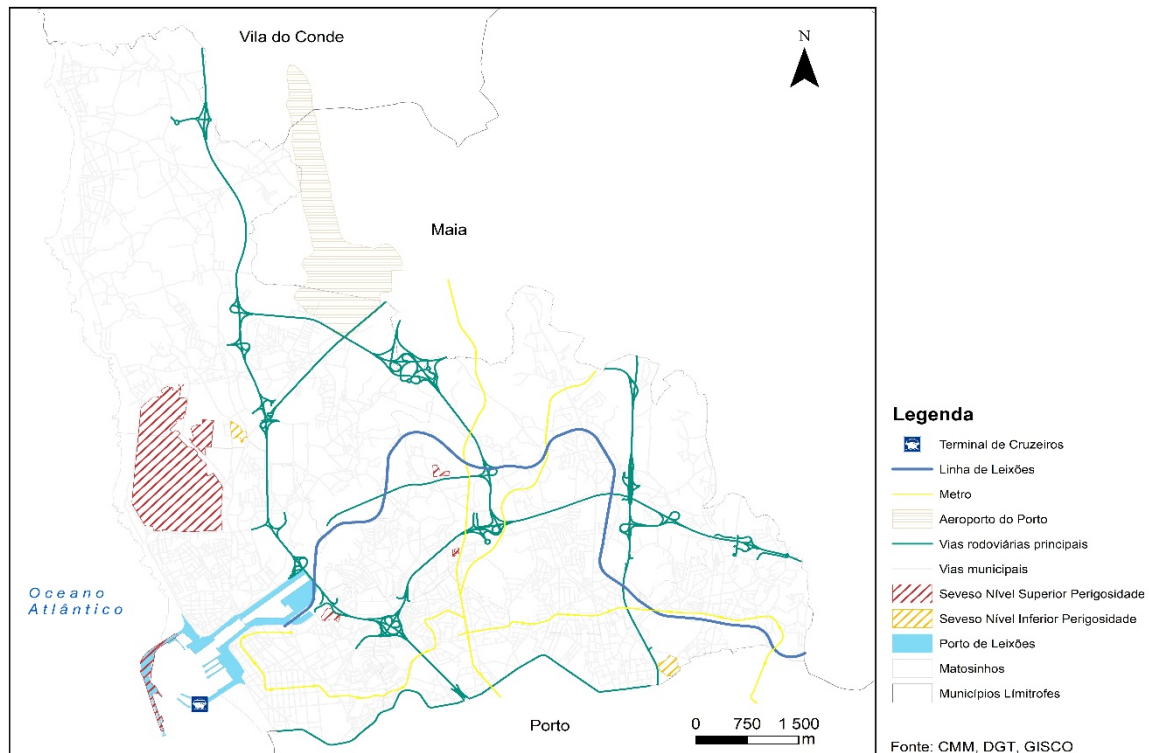


Figura 26. Infraestruturas em Matosinhos

O edificado de Matosinhos acompanha, naturalmente, a presença antrópica dos grandes aglomerados populacionais de S. Mamede de Infesta, Senhora da Hora, Leça da Palmeira e Matosinhos, sendo possível observar, na Figura 27, um forte contraste entre as zonas a norte e a sul da Linha de Leixões, esta última com uma presença muito mais significativa no que diz respeito a edificado.

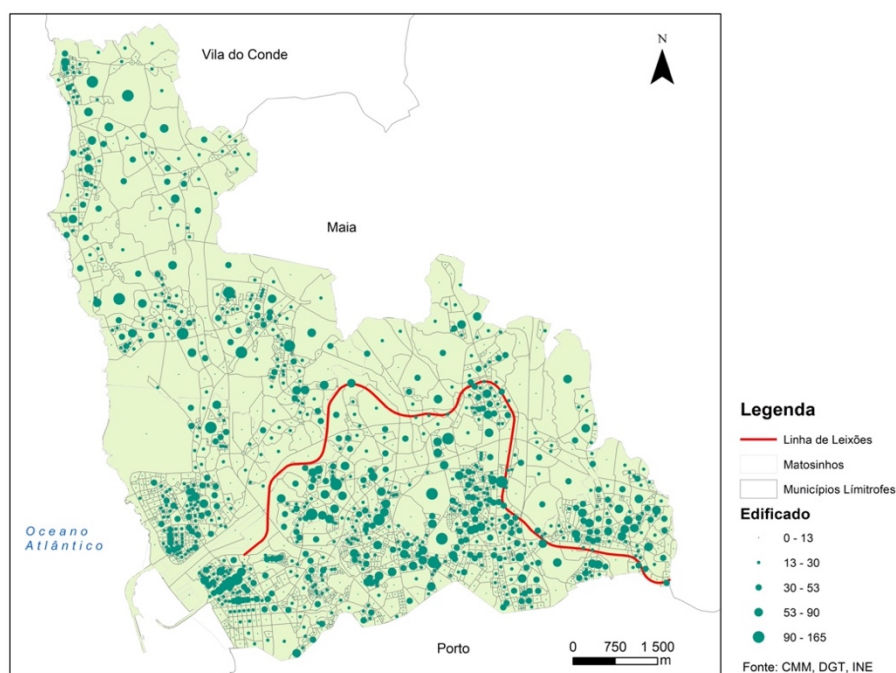


Figura 27. Edificado em Matosinhos

4.3. Caracterização da Linha de Leixões

4.3.1. Introdução

A Linha de Leixões é uma ligação ferroviária entre a estação de Contumil, na Linha do Minho, e o Terminal Ferroviário de Leixões, no Porto de Leixões. Foi inaugurada em 1938 e eletrificada em 1998. O seu traçado de aproximadamente 18 quilómetros abrange territórios dos concelhos do Porto, Gondomar, Maia e Matosinhos, sendo neste último que a linha em causa possui a maior parte do seu traçado (cerca de 12,8 km). A linha de Leixões possui 4 ramais de ligação em Matosinhos, dois deles no Porto de Leixões (Porto e Terminal de Mercadorias), um ramal de ligação a uma indústria petroquímica, a Petibol, em Leça do Balio, e um último de ligação ao parque oficial de Guifões (Infraestruturas de Portugal, 2019).

No território matosinhense, recorrendo à análise da Figura 26, verifica-se que o traçado da Linha de Leixões atravessa importantes aglomerados populacionais a sul do concelho, como é o caso das cidades de S. Mamede de Infesta e Leça do Balio. Importa ainda referir que esta infraestrutura ferroviária está significativamente próxima de outras infraestruturas importantes, tais como linhas de metro de superfície e autoestradas como A28, A4, VRI e a EN 13, Via Interna de Ligação ao Porto de Leixões (VILPL) e indústrias SEVESO, como é o caso da CEPESA Portuguesa. Acrescente-se, ainda, que parte do seu traçado, sobretudo na zona de Guifões, é quase paralelo ao Rio Leça.

Em termos mais técnicos da infraestrutura, a Linha de Leixões é caracterizada como sendo de via única e larga na bitola ibérica (1668mm). Os seus carris suportam cargas de até 22,5 toneladas

por eixo ou 8 toneladas por metro de linha. O regime de velocidade estabelecido para esta linha é entre 50 e 90 km/h e está equipada com um sistema de controlo de velocidade do tipo Ericab. Possui ainda sistemas de comunicação solo-comboio, neste caso, o sistema RSC com transmissão constante de dados, acoplando, nesse mesmo sistema, um mecanismo de controlo de colisões frontais dado tratar-se de uma linha de via única. O seu regime de exploração é assente no Regime de Cantonamento Interpostos (RCI) (Infraestruturas de Portugal, 2019).

Em território matosinhense, a Linha de Leixões é intercetada pela rede viária em 5 pontos, um deles na UF de S. Mamede de Infesta e os restantes na UF de Custóias, Leça do Balio e Guifões. Estas passagens de nível (PN) são classificadas, nos termos do Regulamento de Passagens de Nível (RPN), publicado pelo Decreto-Lei n.º 568/99 de 23 de dezembro com as posteriores alterações, como sendo do Tipo A/B e do Tipo D. As passagens de nível do Tipo A/B correspondem a PN que estão equipadas com barreiras ou meias barreiras, de comando manual ou automático, sinalização luminosa e, eventualmente, sonora. Já a tipologia D das PN corresponde a locais onde não existe proteção ativa, possuindo, somente, um sinal gráfico (cruz de Santo André) e “STOP”, não possuindo quaisquer barreiras ou obstáculos físicos. A distribuição geográfica das passagens de nível e respetivas tipologias pode ser observada na Figura 28:

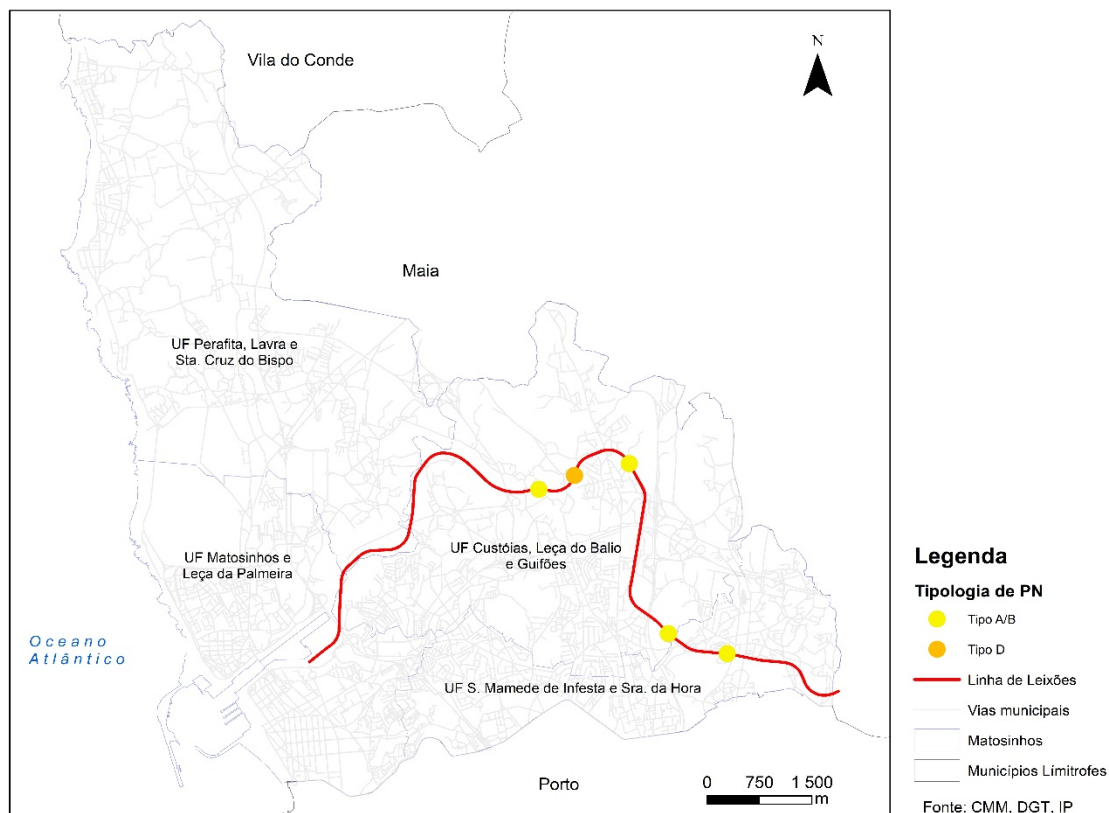


Figura 28. Passagens de nível na linha de Leixões

4.3.2. Estatísticas do transporte de matérias perigosas

Nesta infraestrutura ferroviária circulam várias tipologias de mercadorias, entre as quais, as matérias e substâncias perigosas. O Serviço Municipal de Proteção Civil (SMPC) de Matosinhos acompanha e monitoriza, desde o ano de 2011, estas movimentações, pese embora o detalhe da informação existente ser maior a partir do ano de 2017. Segundo as informações do SMPC de Matosinhos, o tráfego na linha de Leixões tem assumido, nos anos em análise, valores muito variáveis, embora se tenha registado uma tendência decrescente nos últimos anos, como é possível verificar na Figura 29 (SMPC Matosinhos, 2021). Refira-se que os valores apresentados na figura dizem respeito a chegadas e a partidas. Atente-se igualmente que a figura em questão possui os dados existentes do ano de 2021, até 31 de agosto.

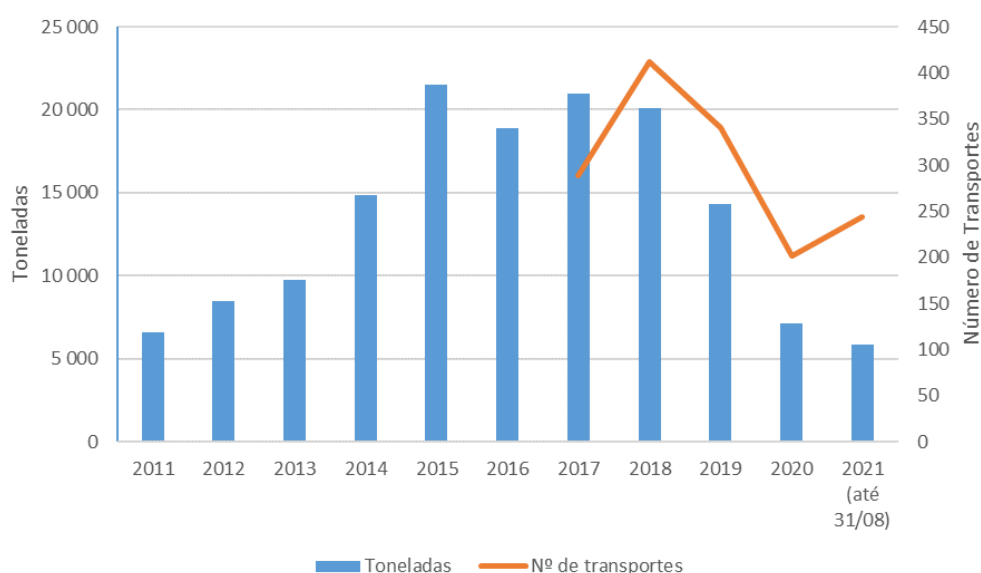


Figura 29. Quantidade de matérias perigosas transportadas (2011-2021) e número de transportes efetuados na Linha de Leixões (2017-2021) | Fonte: SMPC Matosinhos

Após um crescimento acentuado a partir de 2013, as quantidades de matérias perigosas transportadas na Linha de Leixões foram-se mantendo relativamente estáveis, atingindo valores máximos em 2015 e em 2017, superando as vinte mil toneladas/ano. Contudo, em 2019, a quantidade de matérias perigosas transportadas sofreu um decréscimo na ordem das seis mil toneladas, atingindo, em 2020, um valor muito próximo do mínimo registado em 2011 (cerca de 7 mil toneladas). Tal facto poder-se-á relacionar com o surgimento da pandemia provocada pela doença COVID-19, que desacelerou os processos produtivos e as atividades económicas.

Relativamente ao número de transportes efetuados, os dados disponibilizados apenas dizem respeito aos anos de 2017 em diante. Ainda assim, é possível concluir pela análise da Figura 29 que o número de transportes na linha de Leixões, em matéria de substâncias perigosas, decresceu a partir de 2018 (valor máximo de 412 transportes), tendo atingindo o valor mínimo em 2020 (total

de 201 transportes), uma vez mais, presumivelmente, devido aos efeitos provocados pela pandemia de COVID-19. Em 2021, porém, o número de transportes efetuados (até 31 de agosto) observa já um aumento comparativamente a 2020, o que poderá ser sinal da retoma das atividades económicas e processos produtivos. Os dados da Figura 29 apontam, porém, para a inexistência de uma ligação direta entre o número de transportes efetuados e a quantidade de matérias transportadas. A título de exemplo, entre 2017 e 2020, o ano que registou maiores quantidades de matérias e substâncias perigosas transportadas foi o de 2017, no entanto, foi nos anos de 2018 e 2019 que se assinalaram maiores números de movimentações na Linha de Leixões.

Para caracterizar de uma forma mais detalhada os transportes na linha de Leixões, analisaram-se ainda outros três parâmetros: a distribuição mensal e horária dos transportes e a tipologia de substâncias transportadas, por classes do RID. Iniciando a análise pela distribuição mensal num período de 2017 a 2020, observou-se o seguinte panorama (ver Figura 30):

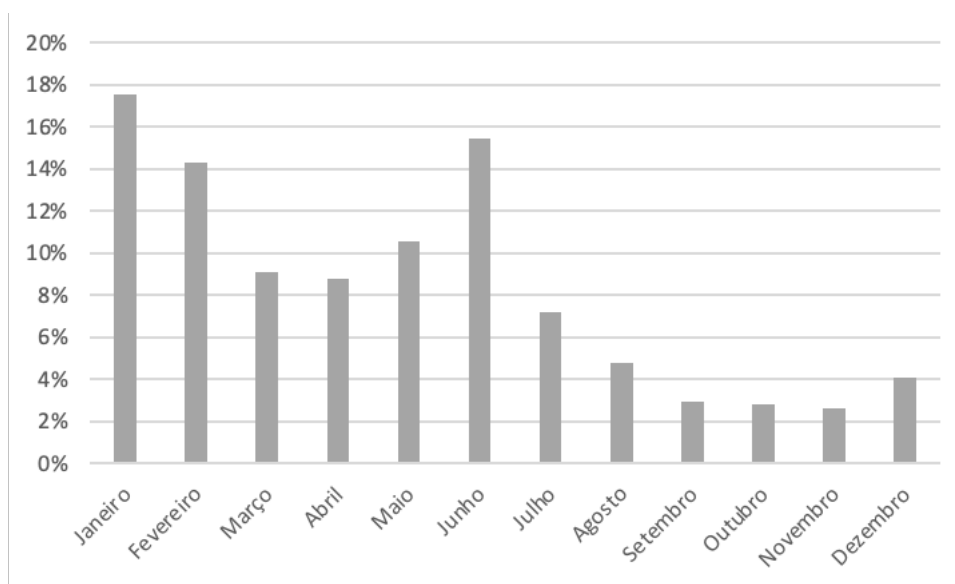
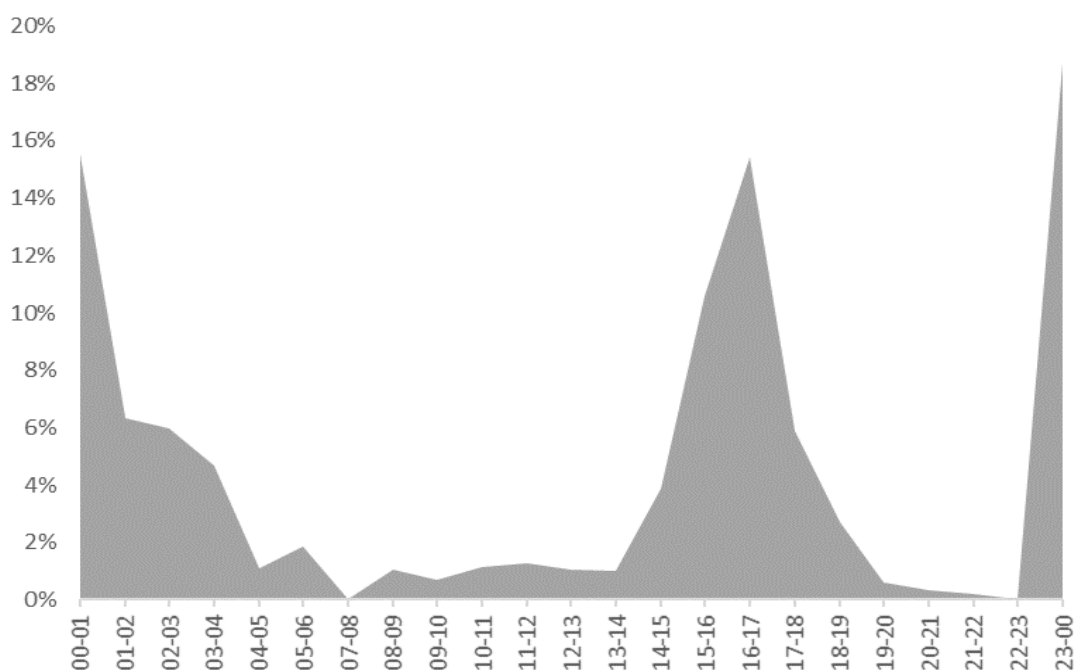


Figura 30. Distribuição mensal dos transportes de matérias perigosas na Linha de Leixões (2017-2020) | Fonte: SMPC Matosinhos

A análise da Figura 30 permite concluir que existe uma clara distinção na distribuição mensal dos transportes, observando-se que mais de $\frac{3}{4}$ dos mesmos são efetuados na primeira metade do ano (75,60%), com valores mais significativos no mês de janeiro, fevereiro e junho. Em contraponto, os meses de setembro, outubro e novembro apresentam valores muito baixos, sempre abaixo dos 3%. Em termos horários, os transportes na Linha de Leixões configuram períodos igualmente bem distintos. Como se pode observar na Figura 31, existem dois períodos do dia onde se efetuam a maior parte dos transportes, no caso, entre as 23h e as 03h00 e entre 14h00 e as 18h00. Estes intervalos de tempo representam 46,50% e 35,76%, respetivamente. Nos restantes períodos do dia, existe uma normalização do número de transportes, sendo o período da manhã até ao início

da tarde relativamente constante no que diz respeito às percentagens de transportes realizados. O período após as 19h00 até às 23h00 é onde se registam valores mais baixos e muito residuais, sendo que, no total, este período horário apenas compreende 1,13% dos transportes efetuados, conforme é possível verificar na Figura 31:



*Figura 31. Distribuição horária dos transportes de matérias perigosas na linha de Leixões (2017-2020) |
Fonte: SMPC Matosinhos*

Importa também averiguar, em matéria de gestão de risco, quais as tipologias de matérias perigosas que circulam na infraestrutura ferroviária em estudo com o intuito de fornecer indicações sobre os cenários mais expectáveis em caso de acidente. Assim, entre 2017 e agosto de 2021, verificou-se que as matérias da classe 5.1 “Matérias comburentes” foram as mais transportadas, tendo, para tal, muito contribuído o transporte massivo de dois tipos de peróxidos de hidrogénio (números ONU 2014 e 2015). No entanto, a partir do ano de 2020, estas matérias deixaram, quase na totalidade, de ser transitadas na Linha de Leixões, passando a ter como destino e origem o terminal ferroviário de S. Martinho do Campo, em Valongo. Em termos de representatividade, seguem-se os gases (classe 2) e os líquidos inflamáveis (classe 3). Entre 2017 e agosto de 2021, estas duas classes representaram, respetivamente, 19,01% e 16,04% da totalidade da quantidade de matérias perigosas transportadas, sendo possível aferir a sua representatividade através da análise da Figura 32.

Embora menos representativas, mas de interesse para os temas de gestão de risco e planeamento de emergência, estão também as matérias da classe 8 (corrosivas) e da classe 6.1 (tóxicas) que, no período em análise, representaram, respetivamente, 8,89% e 6,67% da

quantidade total de matérias transportadas na linha de Leixões. As restantes classes, à exceção da classe 9 (matérias e objetos perigosos diversos), com uma significância de 5,51%, assumem valores muito residuais, não superiores, em todos os casos, a 1%.

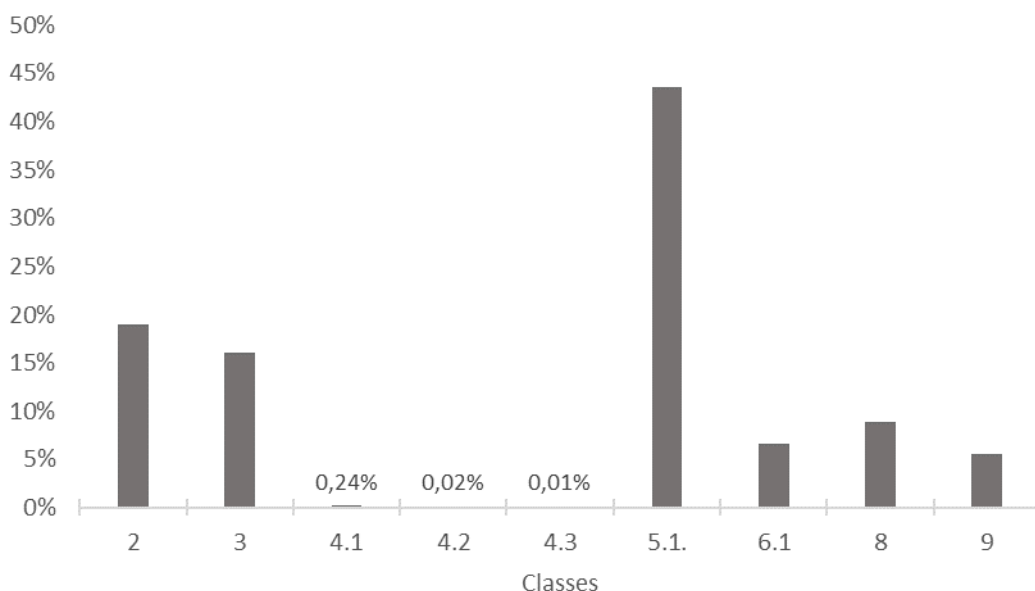


Figura 32. Distribuição percentual da quantidade de matérias perigosas transportadas por classes de perigo (2017-Ago21) | Fonte: SMPC Matosinhos

Contudo, analisando-se somente o período entre 2020 e agosto de 2021, verifica-se uma mudança no paradigma das matérias mais transportadas na linha de Leixões. A saída / diminuição significativa do transporte de substâncias comburentes (classe 5) atribuiu aos gases e líquidos inflamáveis uma maior preponderância. Estes representam, respetivamente, 23,35% e 26,11% da totalidade dos transportes nesse período, sendo o metano líquido refrigerado (ONU 1972 / Classe 2) o mais transportado num total de 1817,49 toneladas, seguido do triclorofluormetano (ONU 3082 / Classe 9) com 1753,80 toneladas e pelo número ONU 2348, acrilatos de butilo estabilizados, da classe 3, com 935,45 toneladas transportadas. A matéria corrosiva (classe 8) mais transportada no período em análise foi o hipoclorito de sódio num total de 605,94 toneladas, ao passo que, a matéria tóxica (classe 6) que registou valores mais elevados foi o número ONU 2078 (Diisocianato de Tolueno) com 306,78 toneladas. A distribuição percentual da quantidade de matérias transportadas por classes de perigo, no período em análise, representa-se na Figura 33.

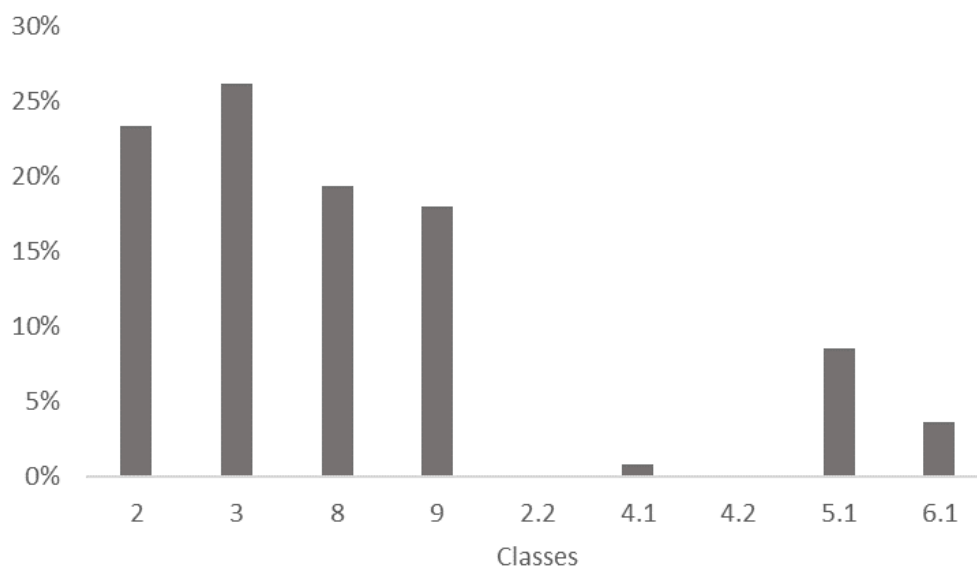


Figura 33. Distribuição percentual da quantidade de matérias perigosas transportadas por classes de perigo (2020 - Ago21) | Fonte: SMPC Matosinhos

4.4. Sistema de Proteção Civil

4.4.1. Introdução

A proteção das populações e demais seres vivos, a salvaguarda do património e bens e a defesa do ambiente são, segundo a Lei de Bases⁵, missões da Proteção Civil (PC), cabendo a esta estrutura, sumariamente:

- Prevenir os riscos coletivos e a ocorrência de acidente grave ou de catástrofe deles resultante;
- Atenuar os riscos coletivos e limitar os seus efeitos no caso das ocorrências descritas no ponto anterior;
- Socorrer e assistir as pessoas e outros seres vivos em perigo, proteger bens e valores culturais, ambientais e de elevado interesse público;
- Apoiar a reposição da normalidade da vida das pessoas em áreas afetadas por acidentes graves ou catástrofes.

Para a concretização destas missões, a estrutura de PC funciona em diferentes patamares, de acordo com o princípio da subsidiariedade. Atualmente, essa organização inclui os patamares nacional, regional, distrital e municipal, estando ainda numa fase de transição para uma estrutura mais descentralizada e onde as estruturas sub-regionais terão um maior protagonismo em

⁵ Lei n.º 27/2006 de 3 de julho com as posteriores alterações

detrimento das distritais, nos termos do Decreto-Lei n.º 45/2019, de 1 de abril, que aprova a orgânica da ANEPC.

Registe-se que, em termos operacionais, um acidente grave ou catástrofe pressupõe o acionamento de um ou mais meios e agentes de proteção civil (APC), articulados sob um comando único, sem prejuízo das respetivas hierarquias funcionais. São agentes de proteção civil de acordo com a Lei de Bases de PC:

- Corpos de bombeiros;
- Forças de segurança;
- Forças armadas;
- INEM, I.P. e demais entidades públicas prestadoras de cuidados de saúde
- Órgãos da Autoridade Marítima Nacional (AMN);
- Sapadores florestais;
- Autoridade Nacional da Avaliação Civil (ANAC);
- Cruz Vermelha Portuguesa (com estatuto próprio).

É importante não olvidar que, em situações de acidente grave ou catástrofe, a gestão de emergência e a concretização das fases de resposta, recuperação e reabilitação, carecem de apoio de outras entidades que, em alguns casos, podem articular-se operacionalmente com os APC. Assim, a Lei de Bases de Proteção Civil define estas organizações como entidades com dever de cooperação, nomeando:

- Entidades de direito privado detentoras de corpos de bombeiros;
- Serviços de segurança;
- Serviço responsável pela prestação de perícias médico-legais e forenses;
- Serviços de segurança social;
- Instituições particulares de solidariedade social e outras com fins de socorro e de solidariedade;
- Serviços de segurança e socorro privativos das empresas privadas e públicas;
- Instituições imprescindíveis às operações de proteção e socorro, emergência e assistência, designadamente dos setores das florestas, conservação da natureza, indústria e energia, transportes, comunicações, recursos hídricos e ambiente, mar e atmosfera;
- Organizações de voluntariado de proteção civil.

4.4.2. Enquadramento legal

O enquadramento legal vigente em matéria de proteção civil desenvolve-se numa vasta panóplia de diplomas legais, embora todos eles possuam uma ligação à lei de bases da PC, a Lei n.º 27/2006, de 3 de julho, com as posteriores alterações.

Para além desta lei estruturante do sistema, destacam-se os seguintes diplomas legais que compõem o panorama legislativo do sistema de proteção civil e socorro e que assumem especial relevo no âmbito da presente dissertação:

- Lei n.º 65/2007, de 12 de novembro, alterada pelo Decreto-Lei n.º 114/2011, de 30 de novembro, e pelo Decreto-Lei n.º 44/2019, de 1 de abril – Enquadramento institucional e operacional da proteção civil municipal;
- Decreto-Lei n.º 134/2006, de 25 de julho, alterado pelo Decreto-Lei n.º 114/2011, de 30 de novembro e pelo Decreto-Lei n.º 72/2013, de 31 de maio – Estabelece o Sistema Integrado de Operações de Proteção e Socorro (SIOPS);
- Lei n.º 53/2008, de 29 de agosto com as posteriores alterações – Lei de Segurança Interna;
- Decreto-Lei n.º 45/2019, de 1 de abril – Aprova a orgânica da ANEPC;
- Declaração n.º 97/2007, de 16 de maio – Estado de Alerta Especial (EAE);
- Decreto-Lei n.º 150/2015, de 5 de agosto, com as posteriores alterações – Prevenção de acidentes graves envolvendo matérias perigosas (SEVESO III);
- Decreto – Lei n.º 43/2020, de 21 de julho – Estabelece o Sistema Nacional de Planeamento Civil de Emergência;
- Declaração n.º 344/2008, de 17 de outubro – Regulamento de Funcionamento dos Centros de Coordenação Operacional (CCO);
- Resolução n.º 25/2008, de 18 de julho – Define os critérios e normas técnicas para elaboração dos planos de emergência de proteção civil.

Do quadrante da intervenção operacional de proteção e socorro, importa ainda realçar as Diretivas Operacionais Nacionais (DON) da ANEPC, nomeadamente:

- DON n.º 1 – DIOPS – Dispositivo Integrado das Operações de Proteção e Socorro;
- DON n.º 3 – NRBQ – Dispositivo Integrado de Operações Nuclear, Radiológico, Biológico e Químico.

Estas DON constituem-se como instrumentos de organização, coordenação e comando operacional no quadro de resposta a situações de acidente grave ou catástrofe e, no caso da DON 3, a situações de emergência envolvendo agentes NRBQ (ANEPC, 2010). Estes documentos têm

como missão “garantir uma adequada, expedita e eficaz mobilização de meios e recursos, humanos e técnicos, passíveis de, coordenadamente e sob um comando único, responder a situações de proteção de socorro”.

4.4.3. Filosofia do sistema

O esquema representativo da organização e do funcionamento das estruturas da PC no território continental, de acordo com o preconizado na Lei de Base da PC bem como na DON n.º 1, representa-se na Figura 34.

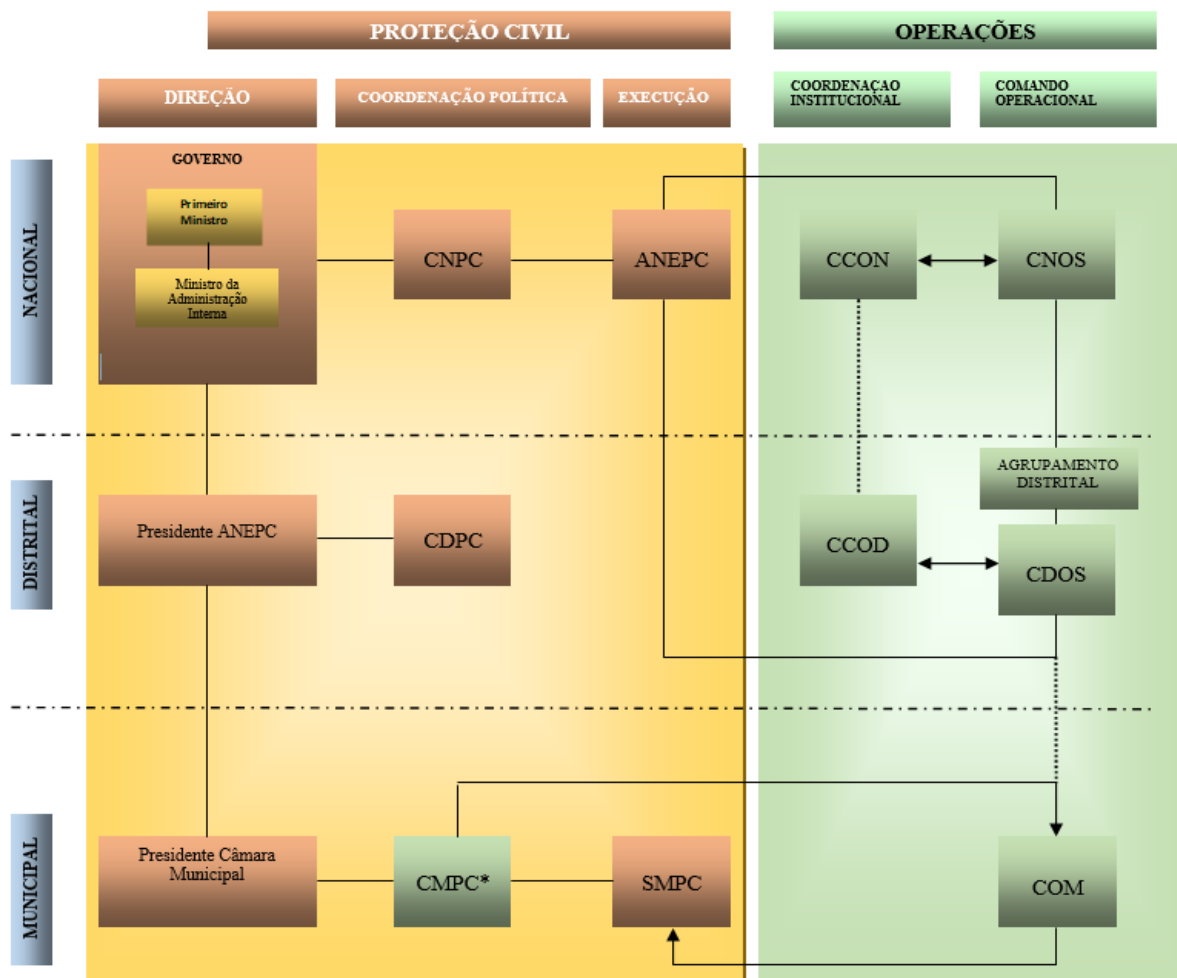


Figura 34. Esquema representativo da estrutura da PC

Todas as ações a desenvolver no âmbito da PC devem respeitar e ter por base o esquema representado na Figura 34, garantindo-se uma articulação entre os vários ramos, desde logo, a área de coordenação /proteção civil e as operações / execução. A nível municipal, identifica-se também um órgão de execução em complemento dos mecanismos de direção e coordenação política, o Serviço Municipal de Proteção Civil (SMPC). No que concerne às estruturas das operações, estas regem-se pelo SIOPS que consiste num conjunto de estruturas, normas e procedimentos de

natureza permanente e conjuntural que asseguram que todos os agentes de proteção civil atuam, no plano operacional, articuladamente sob um comando único, sem prejuízo da respetiva dependência hierárquica e funcional.

4.4.3.1. Proteção Civil em Matosinhos

No caso do município Matosinhos, complementarmente às estruturas identificadas no ponto anterior, verifica-se a existência de um Centro Municipal de Operações de Socorro (CMOS), que está dotado da Central de Emergência de Matosinhos (CEM) (central de comunicações partilhada entre as 4 corporações de bombeiros concelhias) e uma Central da Proteção Civil (CPC) e Polícia Municipal (PM), permitindo a criação de dinâmicas de articulação operacional e institucional mais próximas e eficientes.

Esta central da PC e PM funciona na dependência direta do Gabinete de Segurança e Proteção Civil (GSPC), onde estão inseridos os Departamentos de Proteção Civil (DPC) e de Polícia Municipal e Fiscalização (DPMF). O departamento de Proteção Civil é ainda subdividido na Divisão de Gestão de Risco (DGR), na Unidade de Prevenção (UP) e no Gabinete Técnico-Florestal (GTF). Esquemáticamente, a orgânica municipal dos serviços de proteção civil do concelho de Matosinhos é a que se indica na Figura 34.

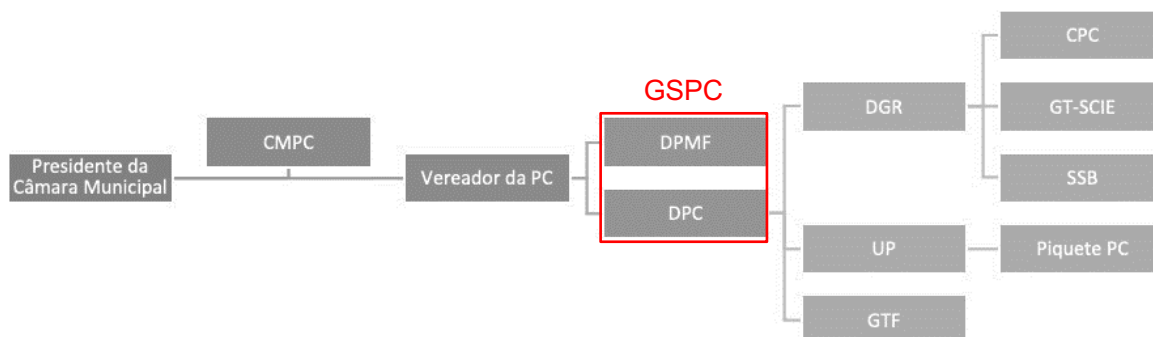


Figura 35. Organização dos SMPC da Câmara Municipal de Matosinhos (CMM)

Paralelamente, a Câmara Municipal de Matosinhos (CMM) criou um Sistema Municipal de Gestão de Emergência (SMGE) para também englobar as estruturas municipais que poderão ter intervenção em caso de acidente grave ou catástrofe num sistema de gestão de ocorrências integrado, sendo este coordenado pelo SMPC. São exemplo de estruturas que podem ser acionadas através do SMGE: Departamento de Conservação, Departamento de Ambiente ou a MatosinhosHabit. O SMGE insere-se na Central de Proteção Civil que é ocupada em permanência num regime de 24/7 e é monitorizado por técnicos superiores da DGR. É também através da CPC que é acionado o Piquete de Emergência do SMPC, funcionando este igualmente num regime de 24/7. Em todos os casos, o acionamento dos meios é realizado através da CPC, no caso dos serviços

autárquicos, e pela CEM no caso dos corpos de bombeiros. As demais entidades, agentes de proteção civil ou entidades com dever colaboração são acionados pelo Comando Distrital de Operações de Socorro (CDOS) do Porto ou, em alternativa, aquando da solicitação efetuada pelo Comandante das Operações de Socorro (COS).

No que diz respeito aos agentes de proteção civil existentes no concelho, estão implantados quatro corpos de bombeiros (CB) voluntários (Leixões, Matosinhos- Leça, Leça do Balio e S. Mamede de Infesta), todos eles dotados de Postos de Emergência Médica (PEM) no âmbito dos protocolos celebrados com o Instituto Nacional de Emergência Médica (INEM). Ao nível dos meios de emergência pré-hospitalar, regista-se também a presença de um motociclo de emergência médica sediado no quartel do corpo de bombeiros voluntários de Leixões, um PEM nas instalações da Autoridade Marítima Nacional (AMN) e, por fim, uma viatura médica de emergência e reanimação (VMER) no Hospital Pedro Hispano. Matosinhos possui, ainda, uma delegação da Cruz Vermelha Portuguesa (CVP) com ambulância de socorro e tripulações formadas em matéria de emergência pré-hospitalar que podem funcionar como complemento ao dispositivo antes descrito.

No que diz respeito à rede de assistência médica pública, Matosinhos é dotado de 10 centros de saúde e de um hospital central com serviço de urgência permanente para adultos, o Hospital Pedro Hispano. Existe ainda um hospital privado, o Hospital da Boa Nova, igualmente dotado de serviço de urgência, que poderá, em caso de acidente grave ou catástrofe, funcionar como apoio à rede pública. Em termos de forças de segurança, o concelho é servido por três esquadras da Polícia de Segurança Pública (PSP), um posto territorial e um outro da Guarda Fiscal da Guarda Nacional Republicana (GNR), sito na Docapesca – Lota de Matosinhos. Estão também presentes a Polícia Marítima da AMN (PM-AMN) e a PM.

A distribuição espacial dos agentes de proteção civil no concelho de Matosinhos está representada na Figura 36:

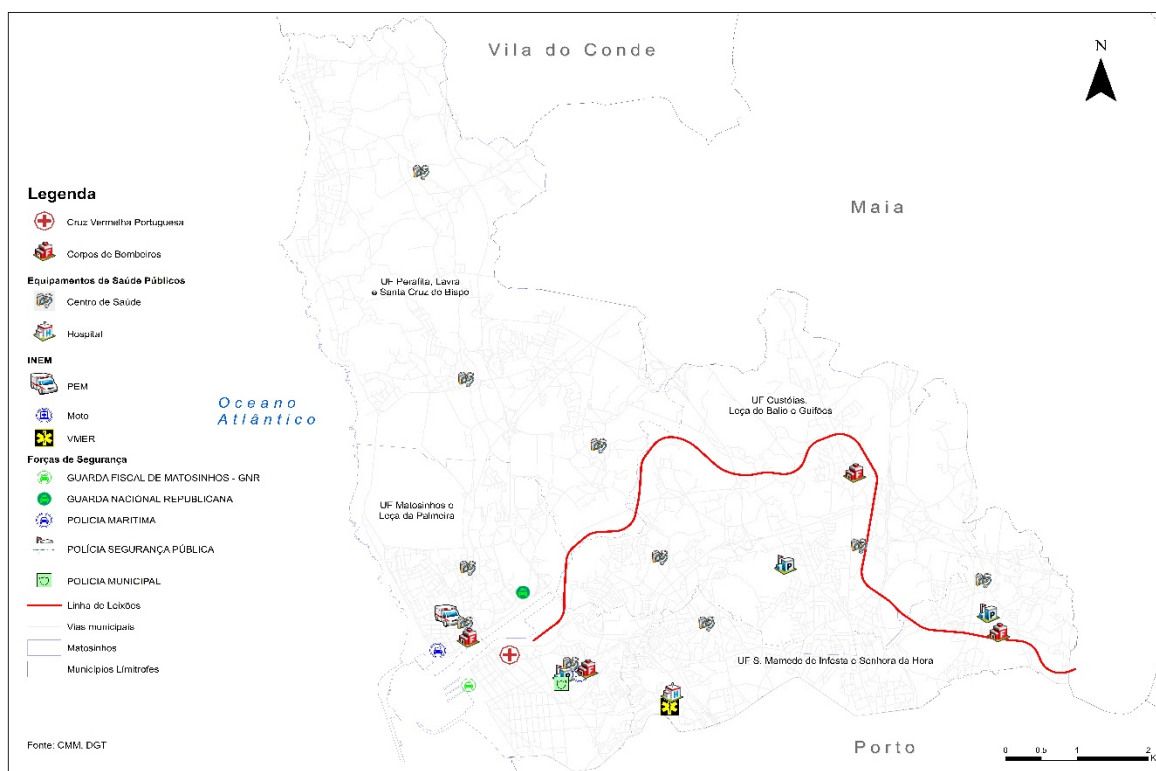


Figura 36. Distribuição espacial dos APC no concelho de Matosinhos

Após esta descrição de estruturas e meios de socorro, convém recordar a proximidade ao concelho do Porto e outros onde os mesmos concentram potenciais importantes reforços em caso de necessidade, nomeadamente ao nível das matérias perigosas, onde os corpos de bombeiros do concelho de Matosinhos estão servidos de forma insuficiente.

4.5. Síntese do capítulo

Matosinhos é um dos concelhos mais populosos de Portugal Continental o que implica, necessariamente, um grande número de atividades económicas que sustentem a presença humana. Nesse sentido, o concelho apresenta uma história rica e de fortes ligações à indústria, nomeadamente, à petroquímica, o que implica um conjunto de necessidades estruturais, nomeadamente, infraestruturas para o transporte de mercadorias. Em Matosinhos, para além da grande oferta de rede viária, existe também a linha de Leixões que serve o porto marítimo local, mas, também, as indústrias do ramo petroquímico do concelho e da sua envolvente.

A movimentação de cargas na linha de Leixões incorpora várias substâncias perigosas e acarreta múltiplos riscos para a população, bens e ambiente, sendo que, no caso em estudo, os fenómenos

mais expectáveis em caso de acidente incluem efeitos térmicos e tóxicos preocupantes, tendo em conta a tipologia de substâncias mais frequentemente transportadas (classes 2, 3 e 6 do ADR/RID).

Em sede de transporte de matérias perigosas na infraestrutura ferroviária em estudo, observaram-se padrões definidos, nomeadamente, quanto à existência de dois períodos diários dominantes, bem como dois períodos sazonais distintos. Tais factos, reconhecendo a importância das condições meteorológicas no desenvolvimento de um acidente envolvendo matérias perigosas, podem configurar cenários muito diferentes que condicionarão a organização e a resposta de emergência, tendo em conta a variabilidade observada nas condições meteorológicas de Matosinhos, típicas de um concelho sob influência oceânica.

O estudo da área em causa permitiu também concluir pela existência de alguns equipamentos afetos a APC que se situam nas proximidades na linha de Leixões, equipamentos esses que, em caso de acidente, poderão ser afetados e tornarem-se inoperacionais, num efeito dominó que condicionará adicionalmente a própria capacidade de resposta municipal e do próprio sistema de socorro.

Considera-se, pois, de extrema importância o estudo mais detalhado de possíveis efeitos de acidentes suscetíveis de ocorrer na linha de Leixões com o fim de perceber as suas consequências e os condicionalismos existentes no que concerne à gestão de uma emergência dessa índole.

Capítulo 5 – Modelação de cenários de acidentes na linha de Leixões

5.1. Introdução

O capítulo anterior procurou identificar e caracterizar os principais fatores condicionantes da gestão operacional e de emergência num acidente com matérias perigosas bem como o agravamento dos seus efeitos. Procedeu-se a uma caracterização do território em estudo e da dinâmica dos transportes de matérias perigosas na linha de Leixões e identificaram-se vários pontos assinaláveis que foram alvo de registo.

Concretizando um dos objetivos da presente dissertação, relata-se neste capítulo a modelação sistemática de cenários de acidente entendidos como mais críticos, por forma a complementar a investigação e a alcançar resultados mais precisos quantos aos seus efeitos e consequências.

Com base nas modelações e no estudo dos efeitos, analisaram-se os danos causados nos elementos vulneráveis expostos, sendo os seus resultados também apresentados e discutidos.

5.2. Metodologia

A modelação dos cenários de acidente e a posterior avaliação dos efeitos causados teve por base uma metodologia que se dividiu em dois aspetos muito distintos. Em primeiro lugar, a concretização das modelações com recurso ao *software Areal Locations of Hazardous Atmospheres (Aloha® 5.4.7)*, com o objetivo de se estimarem as áreas de ameaça e os respetivos níveis de preocupação / *levels of concern (LOC)*. Depois, efetuou-se a avaliação dos efeitos ao nível de afetação dos elementos vulneráveis expostos recorrendo a uma transposição das simulações efetuadas para um de sistema informação geográfica (SIG), onde se realizaram operações de análise e interpolação espacial através da utilização do *software ArcMap 10.3.1*.

No caso da avaliação da população potencialmente exposta, foi adotado o método de ponderação espacial “*Areal Weighting*”, uma vez que, para análises desta natureza, se trata do método mais adequado, conforme opiniões de Chakraborty & Armstrong (1995) e Margai (2001).

O método “*Areal Weighting*” pressupõe que o número de indivíduos previstos para uma determinada área / unidade espacial se distribua de forma uniforme. De acordo com os mesmos, a avaliação de população potencialmente afetada foi estimada usando a equação seguinte:

$$\text{População potencialmente afetada} = \sum_{i=0}^n P_i + \sum_{j=0}^m (P_j * \frac{a_j'}{a_j})$$

Em que:

n = número de unidades espaciais que se encontram totalmente contidas na zona de sinistro (cujos limites não coincidem com os limites da área afetada)

P_i = população das subsecções totalmente contidas na zona de sinistro e em que $i = 0, 1, ..n$;

m = número de subsecções parcialmente contidas na zona de sinistro, cujos limites intersectam ou coincidem com o limite da área afetada;

P_j = população das subsecções parcialmente contidas na zona de sinistro e em que $j = 0, 1, ..m$;

α_j = Área total das subsecções contidas parcialmente na zona de sinistro;

α_j' = Área das subsecções contidas parcialmente na zona de sinistro.

Para efeitos da quantificação das populações, utilizou-se a Base Geográfica de Referenciação da Informação (BGRI), resultante dos *Census 2011* (INE, 2011). Note-se que não se usaram os resultados dos *Census 2021* por serem ainda preliminares e a BGRI correspondente ainda não estar disponível à data da realização do presente trabalho.

Repare-se que a BGRI organiza um conjunto diverso de informação, como o número de pessoas presente ou edifícios, em unidades espaciais, as denominadas subsecções.

Assim, para as subsecções da BGRI contidas na totalidade, foi realizado um somatório da população presente. Por seu turno, nas subsecções parcialmente afetadas, apenas uma fração da população foi considerada tendo em conta a proporção da área da subsecção contida na zona afetada. Por último, foi realizado o somatório destas duas parcelas para se aferir a totalidade de pessoas potencialmente afetadas nas diferentes zonas de ameaça.

Nos restantes elementos expostos, tais como edifícios e elementos sensíveis e/ou estratégicos, como infraestruturas de transporte, quartéis de bombeiros, unidades de saúde, escolas, entre outros, foram realizadas operações de geoprocessamento de interseção, aferindo-se, dessa forma, se um elemento exposto era ou não intersectado pelas zonas de ameaça produzidas pelo *Aloha*. No caso de um mesmo elemento exposto ser intersectado por diferentes *LOC*, considerou-se que o mesmo seria afetado da forma mais gravosa com o objetivo de se prever os cenários mais desfavoráveis.

A metodologia aplicada resume-se ao modelo concetual, representado na Figura 37.

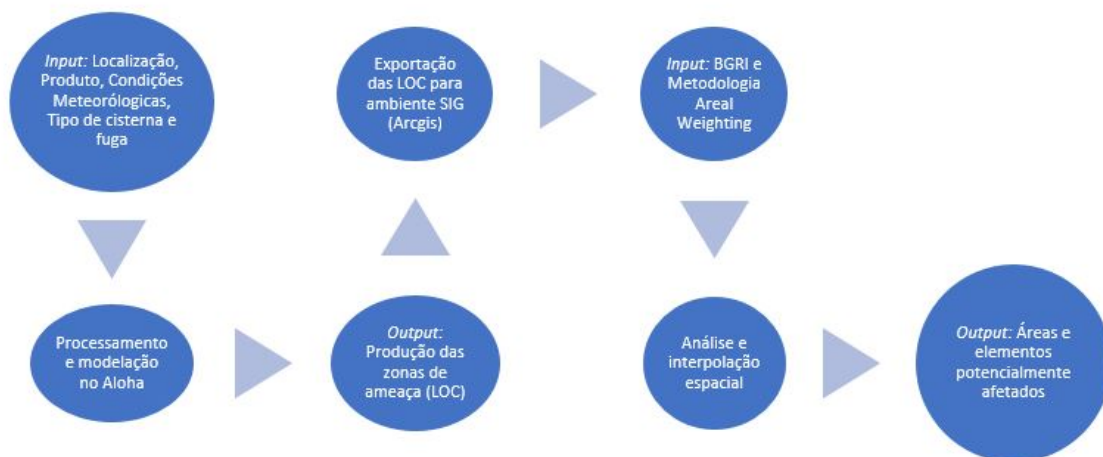


Figura 37. Modelo Conceitual

5.3. Concretização das modelações

5.3.1. Software utilizado

A concretização das simulações para materializar os cenários teve por base a utilização de um software de modelação, no caso, o *Aloha*. Este programa foi desenvolvido pela *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)* e a *Environmental Protection Agency (EPA)* dos EUA e foi escolhido pelas suas boas características, mas também por ser de livre acesso e por permitir a exportação dos resultados para ambiente SIG e outras plataformas como, por exemplo, o *Google Earth*.

O programa informático foi desenhado para entidades ou utilizadores que lidem e tenham que responder a acidentes que envolvam matérias e substâncias perigosas. O *Aloha* tem a capacidade de modelar os principais perigos associados a libertações acidentais de matérias perigosas, incluindo a formação de nuvens tóxicas ou inflamáveis, bem como a modelação de efeitos térmicos (radiação) ou sobrepressão resultantes de fenómenos como incêndios ou explosões. É também preconizado pelo *Aloha*® que a sua utilização seja fácil e que produza bons resultados com rapidez suficiente para ser útil para os organismos de resposta e planeamento de emergência.

A utilização do *Aloha* compreende quatro etapas fundamentais:

- Indicação da cidade, data e hora da simulação;
- Escolha da matéria perigosa envolvida;
- Carregamento das informações meteorológicas;
- Carregamento das condições de vazamento da matéria e seleção dos fenómenos a simular.

Após o cumprimento destas etapas, o *Aloha* modela, calcula e representa graficamente a zona de ameaça, mostrando uma ou mais áreas onde um perigo – toxicidade, inflamabilidade, radiação térmica ou sobrepressão – poderá exercer os principais níveis de preocupação / *levels of concern* (*LOC*). Estes *LOC* representam a ameaça para as pessoas e bens, distribuídas em três zonas de ameaça, vermelha, laranja e amarela, consoante o nível de severidade. O *Aloha* permite igualmente verificar os *LOC* num determinado ponto.

No que diz respeito à modelação, o *software* tem a capacidade de descrever vários fenómenos, sendo eles, a dispersão de poluentes na atmosfera, incêndios e explosões (formação de nuvens inflamáveis e a sua explosão – *flash fire*, *jet fire*, *pool fire* e BLEVE). No caso da dispersão de poluentes, a modelação é efetuada através de dois modelos de dispersão, o Gaussiano e o modelo de dispersão de gás pesado. As *LOC* correspondentes destes cenários dizem respeito a concentrações do poluente, ao nível do solo, superiores às concentrações limite definidas como seguras para a exposição humana (EPA & NOAA, 2007). No que concerne aos efeitos térmicos, as *LOC* pré-definidas são estabelecidas em função dos efeitos fisiológicos causados, por intervalos de intensidade de radiação (kW/m^2) e por tempo de exposição (FEMA *et al.*, 1988; *Center for Chemical Process Safety*, 1994; Lees, 2001). As mesmas fontes e respetivos valores tomados por referências são utilizadas para determinar as *LOC* relativas aos fenómenos de sobrepressão.

Como qualquer modelo, o *Aloha* apresenta algumas limitações, produzindo resultados que poderão ser pouco confiáveis quando se verificarem, especialmente, as seguintes condições:

- Velocidades de vento muito baixas (inferiores a 0,5 m/s);
- Condições atmosféricas muito estáveis;
- Grande variabilidade nas direções do vento e efeitos da topografia.

Paralelamente, o *Aloha* apresenta outras limitações que poderão condicionar a sua utilização, nomeadamente uma biblioteca de substâncias muito restrita, com um número muito reduzido de soluções químicas, tendo sido projetado para a modelação, sobretudo, de produtos químicos puros. Por outro lado, o *Aloha* não tem em conta os efeitos dos subprodutos de incêndios, explosões ou reações químicas, os processos que afetam a dispersão de partículas (incluindo radioativas) ou a projeção de fragmentos dos depósitos quando se verificam explosões. Para além disso, o *Aloha* assume que o solo abaixo de um tanque ou poça com produto derramado é plano, por forma a que o líquido se espalhe uniformemente em todas as direções, não contabilizando possíveis acumulações em depressões topográficas ou o fluxo de líquido através de terrenos inclinados (EPA & NOAA, 2007).

Apesar destas limitações, o *software* possui as virtudes que justificam a sua ampla divulgação e aplicação e, como dito, também o seu uso neste trabalho.

5.3.2. Local, datas e horas das modelações

Em cumprimento da primeira etapa de inserção de dados no *Aloha*®, foi necessário estabelecer o local, a data e a hora das simulações. Relativamente ao local, o mesmo foi escolhido tendo em consideração as vulnerabilidades de segurança da própria infraestrutura investigada, bem como a proximidade a um número significativo de elementos expostos. Com estes critérios, foi escolhida a passagem de nível situada na Travessa Bouça da Cal por se tratar da única que é classificada como do Tipo D, não possuindo barreiras físicas que impeçam ou limitem as incursões de veículos automóveis e outros na linha ferroviária, como pode ser confirmado na Figura 38. Entendeu-se que este local é o que maior propensão apresenta para a ocorrência de acidentes na linha em causa, tendo em conta que muitos dos acidentes ferroviários acontecem na interface entre as redes viária e a férrea (Reis *et al.*, 2019; European Union Agency for Railways, 2020).



Figura 38. Passagem de nível na Travessa Bouça da Cal

Para além da passagem de nível em causa evidenciar vulnerabilidades quanto à segurança, o local foi também escolhido em função da proximidade a duas importantes indústrias, a Petibol e a Teijin Automotive Technologies Portugal (antiga Inapal Plásticos), bem como a um importante aglomerado populacional de Leça do Balio e a outra infraestrutura de transportes, a linha C da Metro do Porto, conforme é possível verificar na Figura 39.



Figura 39. Envolvente ao local do acidente | Fonte: Google Earth

A presença próxima das indústrias referidas, que manipulam matérias-primas, com elevado poder calorífico e de difícil extinção, é um fator que poderá majorar as consequências de um possível acidente na linha de Leixões, principalmente, se forem envolvidas matérias perigosas cujos efeitos principais se manifestem com a emissão de radiação térmica. A possibilidade do efeito dominó, com atividades de risco próximas, bem como a presença de elementos vulneráveis expostos muito próximos e, alguns deles, sensíveis, foram outros fatores tidos em consideração na escolha do local para a concretização das simulações. Acresce ainda referir que o edificado envolvente é, quase todo ele, formado por edifícios de um único piso e a envolvente de cariz urbana.

Por fim, o local apresenta também uma configuração topográfica relativamente plana, o que se adapta especialmente às características do *software* utilizado. A altitude média desta localidade é de 60 metros.

No que diz respeito às variáveis temporais, foram criados cenários para todos os meses do ano com o objetivo de determinar quais seriam os que potenciaríamos situações de maior complexidade em termos de gestão de emergência, tendo como principais fatores a considerar a extensão das áreas potencialmente afetadas e o número e a tipologia dos elementos expostos.

Por fim, atendendo aos períodos temporais de maior tráfego na linha de Leixões, apresentados no capítulo anterior, adotou-se os horários das 16h23 e das 23h23 para as modelações efetuadas, dado serem horas centrais dos períodos de maior intensidade de transporte na linha. Entendeu-se

que a probabilidade de acidente é potencialmente maior nestes intervalos atendendo ao maior número de transportes efetuados.

Por outro lado, o facto de se considerarem dois horários para as modelações, em diferentes alturas do dia (diurno e noturno), acaba também por contribuir para a averiguação de possíveis contrastes no comportamento e na dispersão de nuvens poluentes, conforme previsto pela ANEPC (2016).

5.3.3. Matérias perigosas envolvidas

No que diz respeito às matérias perigosas a envolver nas modelações, foram escolhidas:

- ONU 1972: Metano líquido refrigerado (Classe 2.1);
- ONU 2078: Diisocianato de tolueno (Classe 6.1).

Em relação ao metano, este foi escolhido por se tratar, num período mais recente (2020 – agosto 2021), da matéria mais transportada na linha de Leixões, sendo representativo deste hiato temporal. Atribui-se, desse modo, a proximidade necessária para uma avaliação de risco mais enquadrada nos perigos e riscos existentes no presente.

O gás metano é criogénico, sendo transportado a cerca de -175°C , pelo que, de acordo com a *Cameo Chemicals (database)*, vaporiza rápida e completamente à pressão atmosférica e temperatura ambiente normais, contribuindo para a formação de nuvens inflamáveis em mistura com o ar (2021a). De acordo com a mesma fonte, esta matéria é facilmente inflamável sob a ação de calor, faíscas ou chamas e apresenta um elevado poder calorífico, o que poderá gerar incêndios com elevada produção de calor e danos severos nos elementos expostos.

A outra substância, o diisocianato de tolueno, é uma matéria tóxica com largo histórico de movimentações na linha de Leixões, situando-se sempre entre as 10 mais transportadas desde que existem registos, liderando consecutivamente no nicho das substâncias tóxicas. Esta matéria não é facilmente inflamável, ao contrário do metano, e os seus vapores são mais pesados que o ar. O seu transporte ocorre a uma temperatura entre os 24 e os $38/40^{\circ}\text{C}$ (MIDSIS-TROCS, 2021). O produto cria efeitos irritantes para o sistema respiratório, sendo igualmente carcinogénico. Os sintomas de exposição prolongada a esta substância podem incluir irritação da pele, olhos e sistema respiratório, podendo inclusive causar bronquite, espasmos dos brônquios e edema pulmonar. A exposição a esta substância pode causar igualmente náuseas, vómitos, dor abdominal, e, no caso da exposição a altas concentrações num curto período de tempo, poderá destruir tecidos da pele, olhos, membranas mucosas, células do trato respiratório superior e digestivo, e provocar falta de ar e, em último caso, a morte (*Cameo Chemicals*, 2021b). Sublinhe-se ainda que esta substância reage com a água formando dióxido de carbono.

estes produzidos com recurso ao *software WRPLOT View – Freeware 8.0*, que foram definidos os parâmetros de direção e velocidade do vento. Os valores de velocidade do vento para cada uma das modelações foram determinados com recurso a uma média ponderada dos intervalos obtidos. Um exemplo de um dos gráficos de distribuição de frequências apresenta-se na Figura 41.

Atente-se que os valores de velocidade do vento correspondem a medições efetuadas a uma altura de 10 metros.

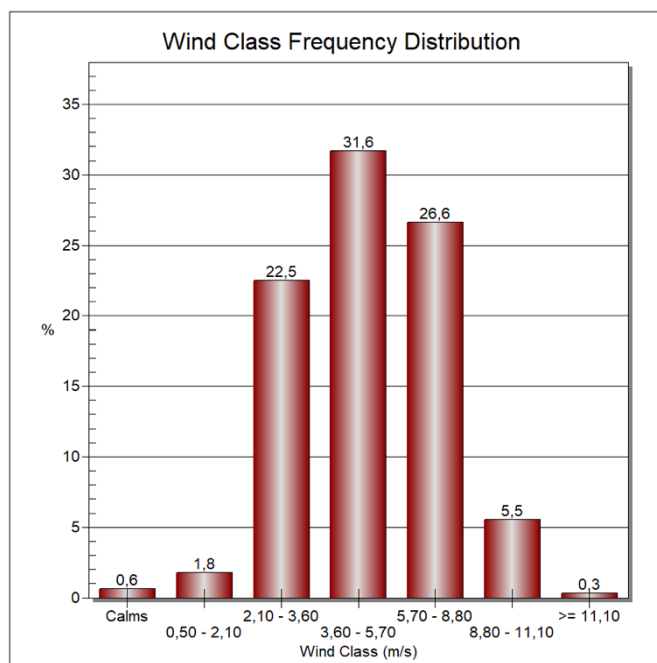


Figura 41. Exemplo de gráfico de frequências de velocidades do vento produzido

Em outros parâmetros, tais como, temperatura média, humidade relativa do ar média, precipitação acumulada e radiação solar, os valores adotados nas simulações tiveram por base a média dos 10 anos em análise, tendo-se, uma vez mais, organizado a informação por mês e pelos dois intervalos horários já mencionados.

A Tabela 7) compila os dados utilizados nas modelações, de acordo com a metodologia anteriormente descrita.

Tabela 7. Dados meteorológicos utilizados nas modelações, por mês e horário | Fonte: ogimet.com

Mês	Horário	Temperatura média (°C)	Humidade relativa média (%)	Precipitação acumulada (mm)	Radiação solar média (w/m²)
Janeiro	14h - 18h	12,46	67,65	21,47	600,10
	23h - 03h	8,86	78,88	26,25	0,00
Fevereiro	14h - 18h	13,26	60,90	19,34	985,69
	23h - 03h	8,66	75,81	13,11	0,03
Março	14h - 18h	14,85	59,82	15,20	1390,67
	23h - 03h	10,68	73,11	13,48	0,04
Abril	14h - 18h	16,50	60,44	9,11	1857,90
	23h - 03h	12,12	76,55	16,16	0,03
Maio	14h - 18h	18,88	60,20	7,97	2168,79
	23h - 03h	14,14	75,93	13,77	0,02
Junho	14h - 18h	20,71	60,50	5,89	2338,02
	23h - 03h	16,04	79,29	9,22	0,02
Julho	14h - 18h	22,41	60,68	0,88	2394,98
	23h - 03h	17,19	81,94	1,78	0,01
Agosto	14h - 18h	22,80	60,40	4,13	2101,25
	23h - 03h	17,44	82,21	4,62	0,03
Setembro	14h - 18h	22,35	59,50	6,53	1640,18
	23h - 03h	17,16	80,20	7,50	0,03
Outubro	14h - 18h	19,90	62,35	25,11	968,41
	23h - 03h	15,70	77,85	24,67	0,03
Novembro	14h - 18h	15,08	68,54	34,37	574,71
	23h - 03h	11,65	80,54	29,17	0,04
Dezembro	14h - 18h	13,63	66,57	26,85	491,60
	23h - 03h	10,03	77,40	21,45	0,04

Em termos meteorológicos, o *Aloha*® requer pré-processamento de dados a que corresponde a introdução de outros parâmetros, nomeadamente, o coberto de nuvens e a estabilidade atmosférica, este último com especial importância na dispersão de poluentes (Sorbjan, 2003a).

A estabilidade atmosférica é dependente do perfil vertical da temperatura, da humidade relativa do ar e da velocidade do vento. Devido a um gradiente da densidade do ar, qualquer volume de ar mais quente ou mais húmido que o ar circundante torna-se mais instável e subirá na atmosfera. Em contrapartida, um volume de ar mais frio ou mais seco que o ar circundante é mais estável e descerá na atmosfera. Em condições neutras, um volume de ar que está à mesma temperatura e humidade que o ar circundante só tende a acompanhar o movimento da atmosfera próxima a que pertence (Bluett *et al.*, 2002).

As classes de estabilidade atmosférica inseridos no *software Aloha*® tiveram por base a metodologia de *Pasquill-Gifford* (ver Tabela 8), uma vez que esta é de fácil aplicação, ampla e aceite de uma forma generalizada para o cálculo dos valores de classe de estabilidade atmosférica (EPA & NOAA, 2007).

Com base em medições da velocidade do vento a uma altura de 10 metros e intensidade da radiação do sol durante o dia e o coberto de nuvens durante a noite, esta metodologia assume que os fluxos convectivos da radiação solar durante o dia, o coberto de nuvens e os fluxos mecânicos do vento controlam a estabilidade atmosférica nas camadas mais próximas do solo (Sorbján, 2003a). A classificação da estabilidade atmosférica organiza-se em 6 classes distintas, sendo elas: A (muito instável), B (instável), C (ligeiramente instável), D (neutro), E (ligeiramente estável) e F (estável), de acordo com Pasquill (1961), citado por Venkatram (1996), e tal como se indica na Tabela 8.

Tabela 8. Classes de estabilidade atmosférica segundo a metodologia Pasquill-Gifford

Velocidade do vento a 10m (m/s)	Dia			Noite	
	Intensidade da radiação solar			Coberto Nuvens	
	Alta	Média	Baixa	> 4/8	< 3/8
< 2	A	A - B	B	-	-
2 - 3	A - B	B	C	E	F
3 - 5	B	B - C	C	D	E
5 - 6	C	C - D	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D

No caso do período diurno, tornou-se necessário caracterizar a intensidade de solar para definir a classe de estabilidade atmosférica, atendendo a que a velocidade do vento para cada uma das simulações havia já sido definido numa fase anterior.

Desse modo, recorreu-se aos valores de radiação constantes da Tabela 7, organizando-se os mesmos em três intervalos numéricos de igual amplitude, tendo-se determinado:

- $0 \leq x < 798,33 \text{ w/m}^2$ – Baixa Intensidade;
- $798,33 \leq x < 1596,65 \text{ w/m}^2$ – Média Intensidade;
- $1596,65 \leq x \leq 2394,98 \text{ w/m}^2$ – Alta Intensidade

Em que “x” é o valor de radiação solar média.

Por seu turno, para determinação da classe de estabilidade atmosférica no período noturno, a metodologia *Pasquill-Gifford*, para além da velocidade do vento, exige que seja avaliado e determinado o valor de coberto de nuvens.

Note-se que esta análise é também necessária para o período diurno com o objetivo de estimar o valor da radiação solar na hora da simulação. Tal facto pode influenciar, por exemplo, a taxa de evaporação de uma poça de líquido inflamável, uma vez que, configurando-se uma situação de maior incidência solar, a possibilidade de se gerarem vapores inflamáveis é também maior e ocorre a uma maior velocidade (Fernandez, 2013).

O valor de coberto de nuvens oscila entre 0 e 10 décimas, correspondendo 0 a céu limpo e 10 a céu totalmente nublado (EPA & NOAA, 2007), sendo que a sua determinação implica um estudo aprofundado de imagens do céu, através de modelos matemáticos. Autores como Kim e Cha (2020) ou Park *et al.* (2021), desenvolveram investigações neste domínio, propondo a capturas de imagens do céu e o seu processamento através de algoritmos matemáticos, para se conseguir estimar um valor mais exato de coberto de nuvens.

Contudo, no presente caso, os dados disponíveis nesta matéria para a área de estudo não apresentam o detalhe nem o histórico necessário para se adotar uma das metodologias propostas pelos autores supramencionados.

Assim, nas modelações efetuadas, os valores adotados para o coberto de nuvens tiveram em atenção o valor de radiação solar para as simulações das 16h23 e os valores de precipitação para as simulações das 23h23, tendo como base o apresentado na Tabela 7 .

Tal metodologia foi aplicada tendo em linha de conta que a ocorrência de precipitação implica, por norma, períodos de céu mais nublados. Em contraponto, os períodos de maior radiação solar implicam, necessariamente, períodos menos nublados (Mulligan & Reaney, 1993; Matuszko, 2012).

Nesse sentido, aplicou-se a divisão dos valores de radiação solar e precipitação em 10 intervalos numéricos, de igual amplitude, a fim de estimar o valor de coberto de nuvens, conforme se apresenta na Tabela 9:

Tabela 9. Relação entre coberto de nuvens e radiação solar e precipitação

Coberto de Nuvens / Período do dia	Diurno: Valores de radiação solar média (W/m²)	Noturno: Valores de precipitação acumulada (mm)
1 décima	$2394,98 \geq a > 2155,482$	$0 \leq b < 3,349$
2 décimas	$2155,482 \geq a > 1915,984$	$3,349 \leq b < 6,698$
3 décimas	$1915,984 \geq a > 1676,486$	$6,698 \leq b < 10,047$
4 décimas	$1676,486 \geq a > 1436,988$	$10,047 \leq b < 13,396$
5 décimas	$1436,988 \geq a > 1197,49$	$13,396 < b < 16,745$
6 décimas	$1197,49 \geq a > 957,992$	$16,745 \leq b < 20,094$
7 décimas	$957,992 \geq a > 718,494$	$20,094 \leq b < 23,443$
8 décimas	$718,494 \geq a > 478,996$	$23,443 \leq b < 26,792$
9 décimas	$478,996 \geq a > 239,498$	$26,792 \leq b < 30,141$
10 décimas	$239,498 \geq a \geq 0$	$30,141 \leq b \leq 33,49$

Com recurso aos valores de velocidade do vento já determinados, à intensidade de radiação solar e às estimativas do coberto de nuvens, aplicando a metodologia de *Pasquill-Gifford*, definiram-se as classes de estabilidade atmosférica para cada uma das modelações, apresentando-se as mesmas na Tabela 10.

Tabela 10. Determinação da classe de estabilidade atmosférica através da metodologia Pasquill-Gifford

Mês	Horário	Intensidade da radiação solar	Coberto de Nuvens (décimas)	Velocidade do Vento (m/s)	Classe de estabilidade
Janeiro	14h - 18h	Baixa	8	4,22	C
	23h - 03h	-	8	3,53	D
Fevereiro	14h - 18h	Média	6	4,65	C
	23h - 03h	-	4	3,37	D
Março	14h - 18h	Média	5	5,14	D
	23h - 03h	-	5	3,26	D
Abril	14h - 18h	Alta	3	5,17	C
	23h - 03h	-	5	2,70	E
Maio	14h - 18h	Alta	1	5,56	C
	23h - 03h	-	5	2,67	E
Junho	14h - 18h	Alta	1	5,24	C
	23h - 03h	-	3	2,14	F
Julho	14h - 18h	Alta	1	5,30	C
	23h - 03h	-	1	2,14	F
Agosto	14h - 18h	Alta	2	5,05	C
	23h - 03h	-	2	2,64	F
Setembro	14h - 18h	Alta	4	4,58	B
	23h - 03h	-	3	2,07	F
Outubro	14h - 18h	Média	7	3,94	B
	23h - 03h	-	8	3,10	D
Novembro	14h - 18h	Baixa	8	3,87	C
	23h - 03h	-	9	3,20	D
Dezembro	14h - 18h	Baixa	8	3,61	C
	23h - 03h	-	7	3,73	D

5.3.5. Condições de vazamento e fenómenos

As configurações das condições de vazamento das substâncias foram distintas em função das características de cada uma delas, dos fenómenos a simular e dos requisitos do *software* para concretizar a modelação. No entanto, em cada uma das matérias consideradas, as condições de vazamento inseridas foram idênticas, alterando somente as condições meteorológicas e temporais.

Em ambos os casos, foi considerado que o acidente teve origem numa incursão de um veículo pesado na linha férrea seguida de colisão com um vagão que transportava uma cisterna intermodal que continha, respetivamente, metano ou diisocianato de tolueno. Este embate ocorreria a uma altura de cerca de 1,13 metros em relação ao solo, correspondendo 1,03 metros à altura do vagão plataforma e 0,10 metros à parte atingida da cisterna, conforme imagem abaixo (Ver Figura 42):

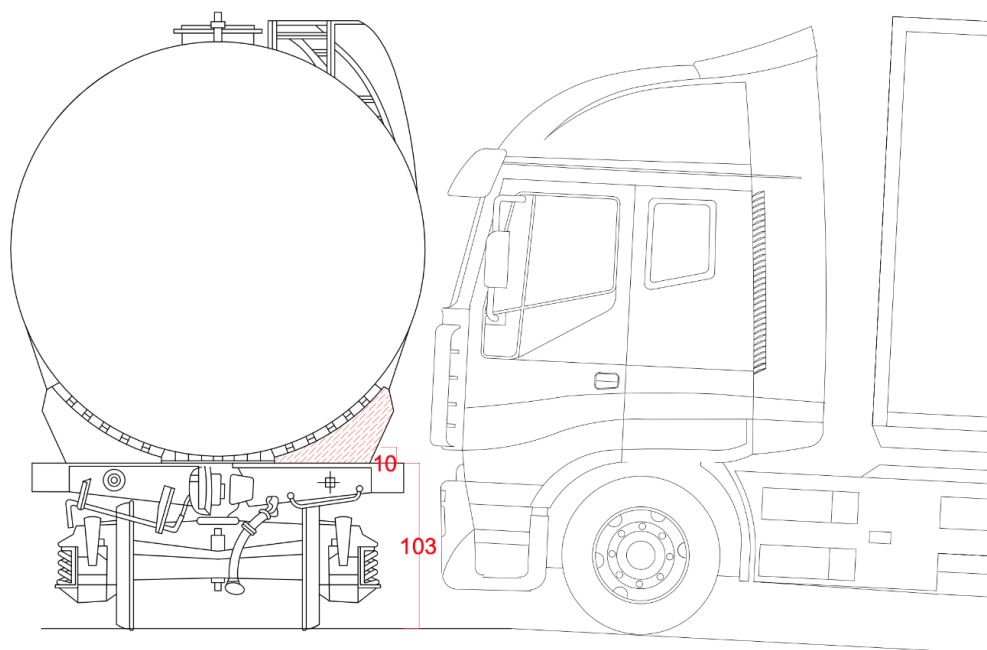


Figura 42. Representação esquemático da localização da fuga na cisterna

A definição da altura do vagão plataforma teve por base os *standarts* apresentados para material circulante desta natureza do operador logístico *Medway*, sendo um dos que mais apresenta movimentos na linha de Leixões no ramo das matérias perigosas (Medway, 2021). Este embate daria origem a um rasgo/abertura na cisterna de 150 cm² (15 x 10 cm) pelo qual se verificaria o derrame ou vazamento das matérias. A definição da dimensão desta abertura teve como objetivo uma aproximação ao verificado no acidente de Viareggio, em Itália, onde se verificou que o rasgo no primeiro vagão foi de 120 cm² (Manca, 2014).

Nas simulações envolvendo metano, o rasgo provocaria o derrame da matéria para o solo e consequente ignição, formando um *pool fire*. A contínua libertação do produto e o calor produzido pelo *pool fire* contribuiriam para um consequente BLEVE, ocorrido num curto espaço de tempo.

Por sua vez, nas simulações que envolvem o diisocianato de tolueno, o rasgo provocaria a fuga da substância e, consequentemente, a formação de nuvem tóxica, sem origem a qualquer tipo de incêndio ou outro tipo de fenómeno associado.

As quantidades consideradas de massa de químico, em cada um dos cenários, foi calculada com recurso a um valor médio, por vagão, dos transportes efetuados das mesmas no período entre 2017 e agosto de 2021. Nesse sentido, determinou-se que a cisterna de metano acidentada transportaria um total de 18 toneladas, ao passo que, no caso do diisocianato de tolueno, a massa do químico seria de cerca de 35 toneladas.

As dimensões consideradas para a cisterna que transportaria metano replicam as dimensões *standart* da *Intermodal ISO Container UN T75*, aprovada pela ISO 1496, DOT 49CFR, AAR600 e regulamentos internacionais como o ADR, RID ou IMDG (Saeco, 2021).

No que diz respeito aos cenários envolvendo diisocianato de tolueno, foi considerada uma fuga direta (*direct source*), não sendo necessário prever as dimensões da cisterna que o transportava, mas sim o tipo de fonte e a sua altura, a duração e a quantidade de poluente libertado por unidade de tempo. Nesse sentido, foi determinado que, após o rasgo, a fonte seria contínua e duraria cerca de 7 minutos, sendo libertados 32,3 toneladas de produto, ficando ainda no reservatório cerca de 1,7 toneladas em virtude da fuga se situar a 10 cm da base da cisterna.

A totalidade dos detalhes dos *inputs* inseridos no *software Aloha*® e respetivas folhas resumo para as várias simulações efetuadas, encontram-se em anexo ao presente trabalho (ver Anexo C), sendo que a Tabela 11 é aqui apresentada só como elemento ilustrativo.

Tabela 11. Quadro resumo de modelação em Aloha

Janeiro – Tarde (14h – 18h) | UN 2078 (Diisocianato de Tolueno)

Dados de Entrada Aloha			
Dados do Local 41º 12,835 N 8º 38,473' O			
Designação do Local	Leça do Balio	Altitude aproximada (m)	67
Tipo de Edificado	Edifícios de um só piso	Envolvente do Edificado	Envolvente desabrigada
Matéria Perigosa			
Químico	Metano	UN 1972	
Condições Atmosféricas			
Velocidade do Vento (m/s)	Origem do Vento	Altura da Medição (m)	Rugosidade do Solo
4,22	Noroeste	10 metros	Urbano ou Florestal
Coberto de Nuvens	Temperatura do ar (°C)	Classe de Estabilidade	Altura de Inversão
8 décimas	12,46	C	Não aplicável
Humidade relativa (%)	Renovações de ar por hora		
68	0,57		
Fonte de libertação			
Cenário de Nuvem Tóxica			
Tipo de Fonte	Contínua	Taxa de Saída do Poluente	3.850 litros/minuto
Altura da Fonte (m)	1,13	Duração da Descarga (min)	7
Estado físico da matéria	Líquido	Temperatura Armazenamento	40°C
Taxa de Libertação	4.620 kg/min.	Quantidade libertada (kg)	32.332

5.4. Avaliação dos elementos expostos e áreas potencialmente afetadas

Depois de modelados os cenários e obtidos os respetivos gráficos de zonas de ameaças e *LOC*, com recurso ao *Aloha*, estes foram exportados para que pudessem ser analisados em ambiente SIG, no caso, com recurso ao *software ArcMap 10.3.1*.

Relativamente às zonas de ameaça produzidas pelo *Aloha*, as mesmas foram divididas em distintas *LOC*. No caso dos acidentes com produção de efeitos térmicos, as zonas de ameaça foram avaliadas de forma distinta para pessoas e edifícios porque os valores de intensidade de radiação e respetivos efeitos são muito distintos em ambos os casos. Assim, no caso das pessoas, os valores para definição das *LOC* foram os padronizados pelo *Aloha*. Na Tabela 12, os mesmos são apresentados juntamente com os principais efeitos produzidos no ser humano.

Tabela 12. Valores padrão do *Aloha* de intensidade de radiação térmica e consequência no ser humano

Radiação térmica (kW/m ²)	Consequência de exposição
Zona Vermelha – 10.0	Potencialmente letal em 60 segundos
Zona Laranja – 5.0	Queimaduras de 2º grau em 60 segundos
Zona Amarela – 2.0	Dor em 60 segundos

No caso dos edifícios, os valores de intensidade de radiação térmica para produção das zonas de ameaça foram ajustados por forma a acompanharem os impactes expectáveis no edifício de acordo com o proposto por Li *et al.* (2019), apresentando-se os mesmos na Tabela 13.

Tabela 13. Valores de intensidade de radiação térmica e impacte nos edifícios

Radiação térmica (kW/m ²)	Consequência de exposição
Zona Vermelha – 37.5	Todos os equipamentos são severamente danificados
Zona Laranja – 25.0	Energia mínima para queima de madeira sem chama, apenas com radiação
Zona Amarela – 12.5	Energia mínima para derretimento de plástico (com chama)

No que concerne aos acidentes com produção de efeitos tóxicos, consideraram-se os valores padrão do *software* para definição das zonas de ameaça e respetivas *LOC*. Note-se que estes valores são indicados, especificamente, para a matéria em questão (ver Tabela 14).

Tabela 14. Valores padrão do Aloha de concentração em ppm e consequências no ser humano

Valor AEGL para 60 min. de exposição	Consequência de exposição
Zona Vermelha AEGL – 3: 0,51 ppm	Concentração de substância no ar acima da qual se prevê que a população em geral, incluindo indivíduos suscetíveis, poderá sofrer efeitos para a saúde com perigo de morte
Zona Laranja AEGL – 2: 0,083 ppm	Concentração de substância no ar acima da qual se prevê que a população em geral, incluindo indivíduos suscetíveis, poderá sofrer efeitos irreversíveis
Zona Amarela AEGL – 1: 0,02 ppm	Concentração da substância no ar, acima da qual se prevê que a população em geral, incluindo indivíduos suscetíveis, poderá sentir um desconforto notório, irritação, ou alguns efeitos não sensoriais assintomáticos. No entanto, os efeitos para a saúde não são incapacitantes, são transientes e reversíveis após a exposição terminar.

Note-se que os *outputs* do Aloha®, no caso da formação de nuvem tóxica, representam uma quarta zona de ameaça, nomeadamente, a zona de confiança. Esta zona de confiança representa a incerteza relativamente à dispersão da nuvem, podendo, nas áreas abrangidas por esta, serem atingidas concentrações de poluente idênticas às previstas para a zona amarela.

Após a exportação destes gráficos para ambiente SIG, através do *software* supramencionado, foram efetuadas várias operações de geoprocessamento, usando interpolação espacial. Estas operações tiveram como objetivo a determinação de áreas potencialmente afetadas (APA) e, cumulativamente, a identificação da população exposta bem como elementos estratégicos e/ou sensíveis expostos, nos termos do proposto por Julião *et al.* (2009).

Para se proceder à avaliação de população exposta, foi adotado o método de ponderação espacial “*Areal Weighting*”, como já foi referido.

5.5. Resultados

O estudo realizado considerou cenários para todos os meses do ano e dois horários distintos e, como dito, vão ser apresentados todos os resultados das simulações efetuadas. Contudo, ao nível de tratamento gráfico e da afetação dos elementos expostos, destacar-se-ão os meses de janeiro e julho.

O primeiro mês porque os resultados alcançados demonstraram que é representativo de todos os meses da estação de inverno e porque é o que concentra o maior tráfego de matérias perigosas na linha de Leixões, conforme Figura 30 e Figura 31.

No caso de julho, a escolha teve por base a circunstância crítica de ser o mês onde os potenciais efeitos de uma nuvem tóxica são mais nefastos, tanto ao nível da área territorial atingida, como do número de elementos potencialmente expostos. De facto, recorde-se que Matosinhos tem uma grande frente de mar com praias que, sobretudo nos meses mais quentes, são muito procurados por veraneantes e isso cria um movimento pendular diário de pessoas que podem ser potencialmente afetadas. Por outro lado, os estudos efetuados demonstraram que julho é um mês representativo da estação de verão.

5.5.1. Acidentes com metano

Os acidentes envolvendo metano poderiam provocar, conforme descrito na caracterização do problema, a ocorrência de dois fenómenos, iniciando-se pelo *pool fire* e, posteriormente, o *BLEVE*, decorrente da afetação das paredes da cisterna provocada pela radiação emitida pelo incêndio em poça.

Iniciando a análise pelas modelações de *pool fire*, representam-se na Figura 43 as zonas de ameaça produzidas para os cenários diurnos e noturnos dos meses de janeiro e julho, com base em valores de intensidade de radiação térmica suscetíveis de causar danos nas populações.

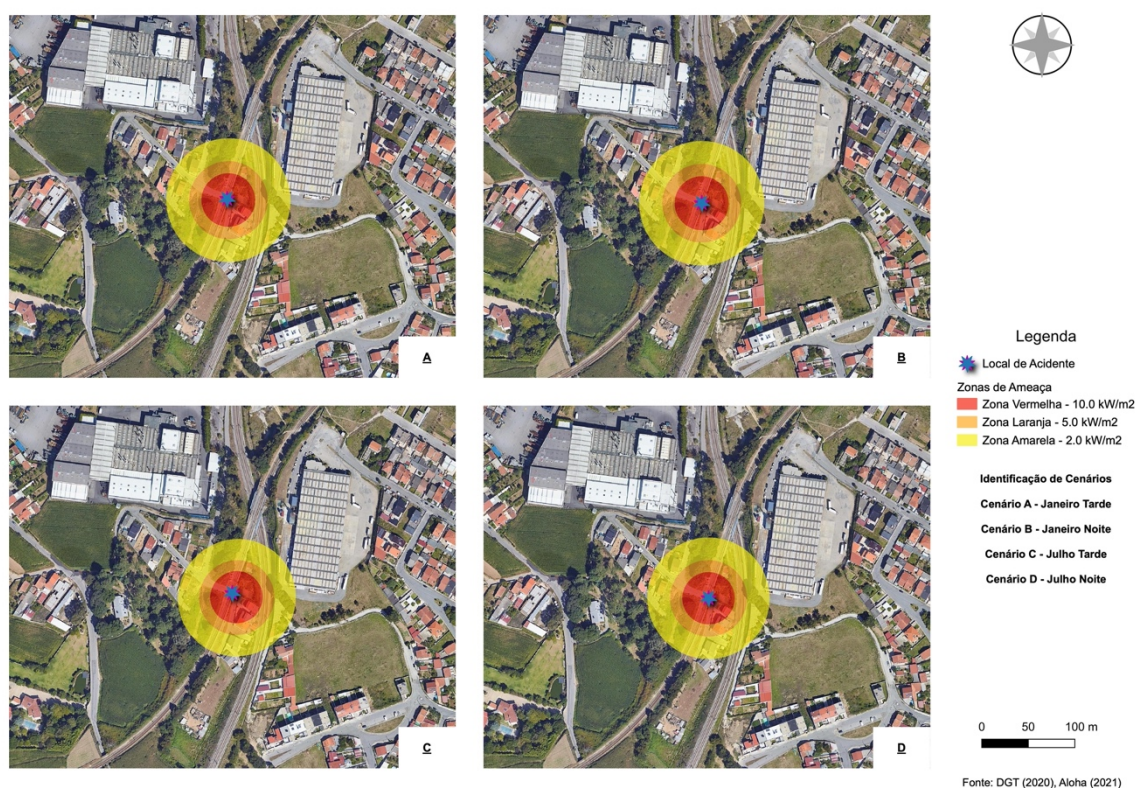


Figura 43. Zonas de ameaça para as populações provocadas pelos efeitos térmicos do *pool fire*

Note-se que, no Anexo D, constam as figuras das zonas de ameaça obtidas para *pool fire* de todas as modelações efetuadas. A Figura 43 reflete pequenas oscilações nas áreas afetadas,

verificando-se ligeiras diferenças entre os períodos diurno e noturno, com cenários mais gravosos no período diurno. Este facto ocorre, sobretudo, nos meses em que se registam valores de temperatura ambiente mais elevados, como os de primavera e verão. O cenário mais desfavorável ocorre no mês de abril, no período da tarde. Nessa simulação registaram-se raios de afetação de 71, 47 e 34 metros, organizados pelas zonas amarela, laranja e vermelha, respetivamente. Em relação aos restantes meses, as oscilações destes são muito pouco significativas, na ordem dos 4 metros. A média dos raios das áreas afetadas para toda a análise foi de 67, 43 e 30 metros, confirmando uma oscilação de valores muito reduzida face ao cenário mais desfavorável.

Apresenta-se na Figura 44 os raios de ameaça produzidos pelo *pool fire* para todas as simulações realizadas.

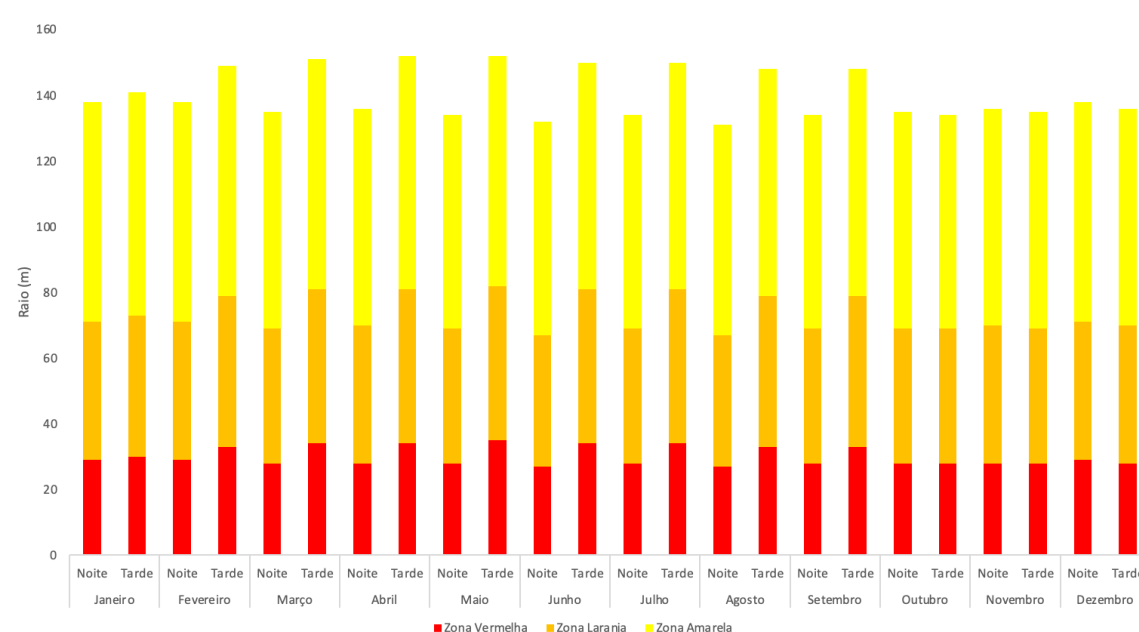


Figura 44. Raios das zonas de ameaça suscetíveis de afetar pessoas provocadas pelo *pool fire*

A Tabela 15 resulta, por sua vez, da análise espacial efetuada em ambiente SIG quanto ao número de pessoas potencialmente afetadas pelos efeitos térmicos do *pool fire*, nos meses de janeiro e julho. Os resultados apontam para uma grande normalização em termos de pessoas afetadas, o que já era expectável em virtude das zonas de ameaça serem também elas muito semelhantes.

De entre os meses analisados, verificou-se que o cenário da tarde de julho é o que poderá afetar um número mais elevado de pessoas, pese embora, a diferença não seja muito significativa. As operações espaciais em ambiente SIG permitiram apurar que, no máximo, podem ser afetadas 386 pessoas, de acordo com os dados INE do *Census 2011*. Já no período noturno, o cenário mais desfavorável ocorre no mês de janeiro, com 378 pessoas afetadas no máximo, estando este valor ligeiramente abaixo quando em comparação com o cenário mais desfavorável de toda a análise.

Tabela 15. Número de pessoas afetadas pelos efeitos térmicos do pool fire

Mês e Período		Janeiro		Julho	
		Noite	Tarde	Noite	Tarde
Zona de Ameaça	Vermelha	49	53	47	54
	Laranja	212	219	212	220
	Amarela	378	384	377	386

No caso do edificado, as zonas de ameaça produzidas pelos efeitos térmicos do *pool fire* representam-se, espacialmente, na Figura 45.



Figura 45. Zonas de ameaça para o edificado provocadas pelos efeitos térmicos do pool fire

Em comparação com as zonas de ameaça e respetivos *LOC* para as populações, as zonas de ameaça para o edificado são, espacialmente, mais reduzidas. Tal facto resulta da adoção de maiores valores de intensidade da radiação térmica na escala utilizada. A Figura 45 possui a mesma escala (1:3000) da Figura 43 para permitir a comparação em termos espaciais das zonas afetadas.

A Figura 46 traduz, numericamente, a extensão espacial das zonas de ameaça para o edificado para toda a análise efetuada. À semelhança do já verificado para o caso das populações, os resultados demonstram pouca variabilidade, existindo, somente, ligeiras oscilações. As oscilações

para valores mais desfavoráveis ocorrem, uma vez mais, nos meses de primavera e verão, onde se registam valores de temperatura ambiente superiores. Por essa mesma razão, em termos de

períodos diários, os resultados mais nefastos ocorrem nos períodos diurnos, atendendo aos registos de maior temperatura ambiente. De todos os meses analisados, o cenário mais desfavorável foi o da tarde de junho. Neste, os raios das zonas de ameaça foram de 31, 21 e 16 metros, distribuídas pelas zonas amarela, laranja e vermelha, respetivamente. Para toda a análise, a média dos raios das zonas de ameaça foram de 27, 17 e 13 metros, respetivamente distribuídas pelas zonas amarela, laranja e vermelha. Também neste caso a diferença entre os valores médios e os valores do cenário mais desfavorável é da ordem dos 4 metros, não sendo muito relevante.

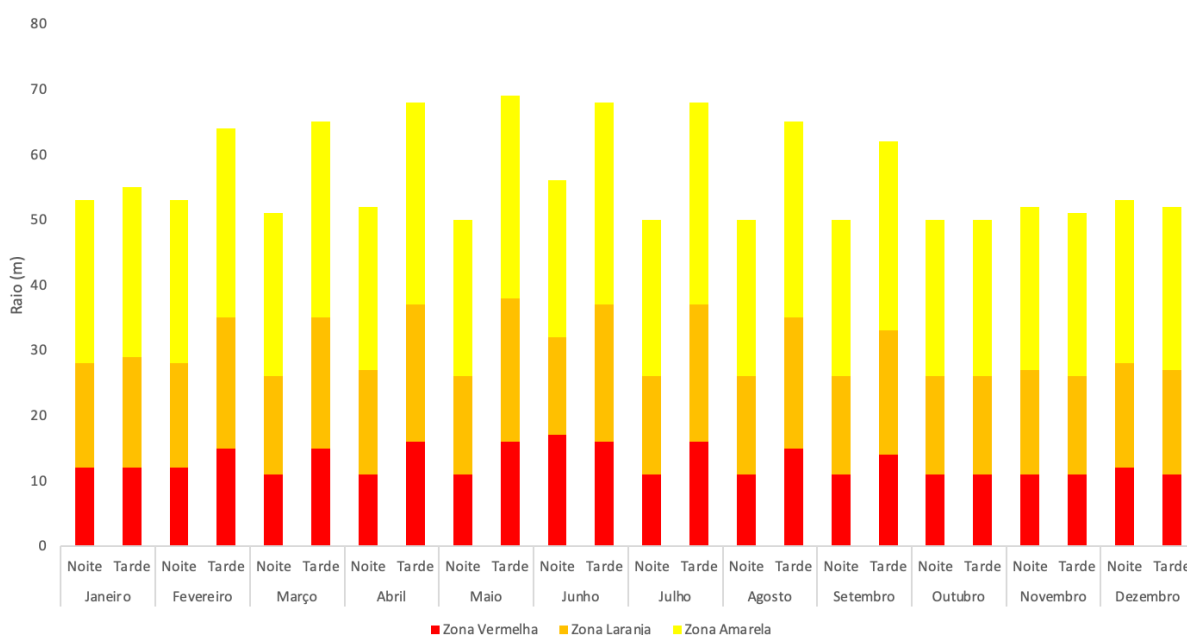


Figura 46. Raios das zonas de ameaça suscetíveis de afetar edifício provocadas pelo pool fire

A Tabela 16, por outro lado, exhibe os resultados da análise espacial efetuada com o intuito de aferir o número de edifícios afetados pelos efeitos térmicos resultantes da ocorrência de *pool fire*.

Tabela 16. Número de edifícios afetados pelos efeitos térmicos do pool fire

Mês e Período		Janeiro		Julho	
		Noite	Tarde	Noite	Tarde
Zona de Ameaça	Vermelha	-	-	-	-
	Laranja	-	-	-	1
	Amarela	4	5	5	6

Os dados da Tabela 16 refletem uma baixa afetação do edificado envolvente ao local do acidente. Assim, verifica-se, somente no cenário mais desfavorável (tarde de julho), que 1 um dos

edifícios possa ser atingido com intensidades de radiação até 25 kW/m². Neste caso, o edifício sofreria danos moderados ou severos se construído em madeira. Nos restantes casos, abrangidos pela zona de ameaça amarela, o edifício sofreria danos muito ligeiros, essencialmente, nos revestimentos exteriores e nos elementos existentes na fachada, de base plástica, como persianas, por exemplo (Li *et al.*, 2019).

A análise espacial efetuada permitiu também verificar a não existência de elementos sensíveis e/ou estratégicas nas zonas de ameaça do edificado, mesmo no cenário mais desfavorável.

No caso da ocorrência de *BLEVE*, os efeitos térmicos produzidos⁶ são muito superiores aos provocados pelo *pool fire*, tal como seria expectável, e conforme demonstra a Figura 47.

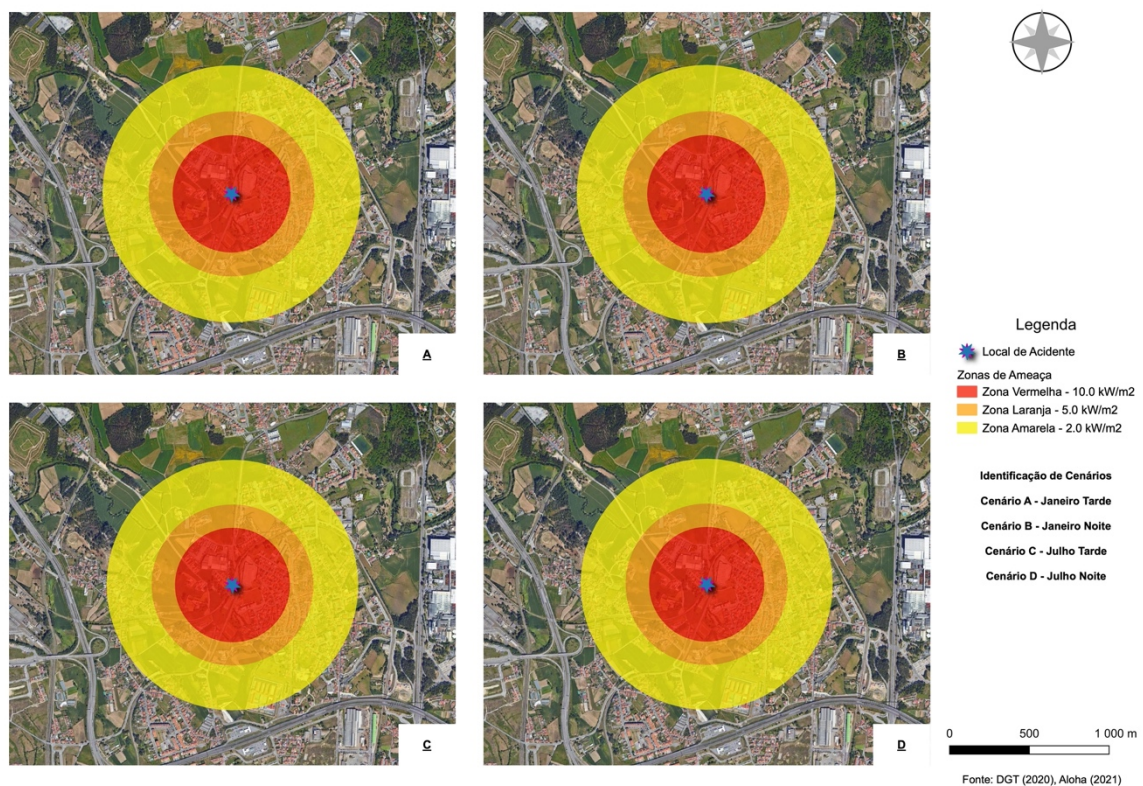


Figura 47. Zonas de ameaça para as populações provocadas pelos efeitos térmicos do BLEVE

À semelhança do que acontece para as modelações de *pool fire*, não se verificam grandes oscilações nos raios das zonas de ameaça, mesmo com as variáveis meteorológicas aplicadas. No entanto, os cenários mais desfavoráveis tendem a ocorrer nos meses mais frios, mais concretamente, em dezembro, janeiro e fevereiro, ao contrário do verificado nas modelações de *pool fire*. Também ao contrário do verificado para estas modelações, é no período noturno que se verificam os piores cenários de *BLEVE*. O pior cenário de *BLEVE* ocorre na noite de fevereiro, com raios de zonas de ameaça de 809, 519 e 368 metros, respetivamente distribuídos pelas zonas

⁶ As zonas de ameaça produzidas para *BLEVE* de todas as modelações podem ser consultadas no Anexo E.

amarela, laranja e vermelha. Os valores médios das zonas de ameaça para todo o estudo são de 794, 501 e 361, distribuídos da mesma forma. Como é possível verificar, os valores médios quando comparados com os do cenário mais desfavorável, oscilam de forma muito ligeira e pouco relevante, na ordem dos 13 metros. Tais resultados conferem uma grande estabilidade o que permite ter uma previsão muito aproximada em caso de acidente real, em qualquer período do dia ou altura do ano.

Na Figura 48 apresentam-se os raios das zonas de ameaça suscetíveis de criar danos nas populações, para todas as modelações efetuadas.

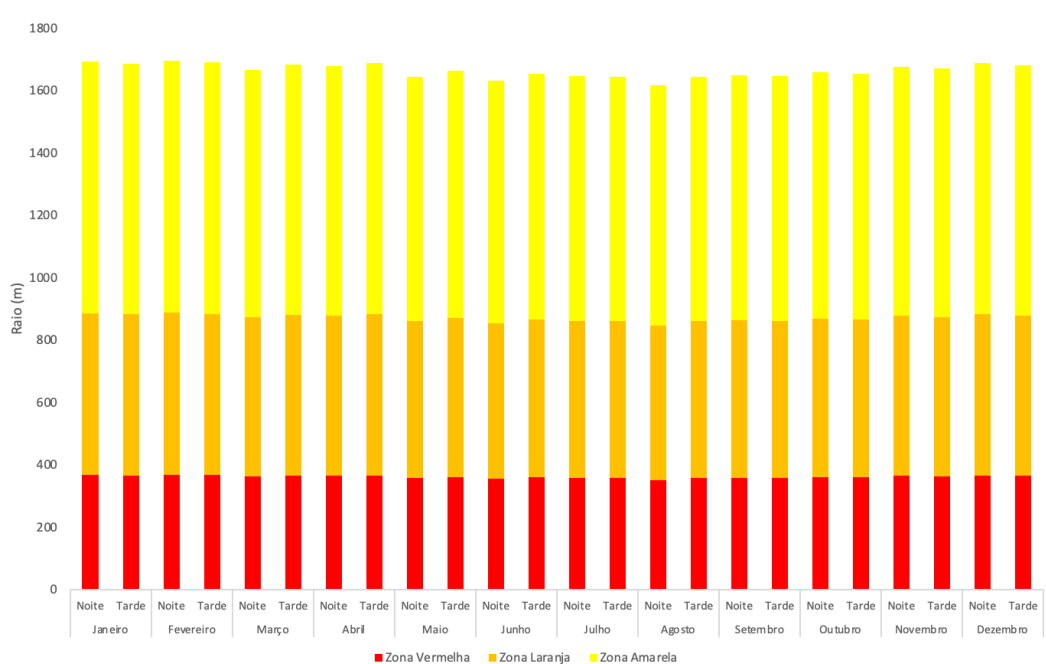


Figura 48. Raios das zonas de ameaça suscetíveis de afetar pessoas provocadas pelo BLEVE

Da análise espacial efetuada em ambiente SIG com estas zonas de ameaça, resultou a Tabela 17, que exhibe a estimativa de pessoas afetadas pelos efeitos térmicos do BLEVE, de acordo com o INE.

Tabela 17. Número de pessoas afetados pelos efeitos térmicos do BLEVE

Mês e Período		Janeiro		Julho	
		Noite	Tarde	Noite	Tarde
Zona de Ameaça	Vermelha	2.413	2.711	2.403	2.738
	Laranja	6.193	6.775	5.839	6.462
	Amarela	11.471	12.283	10.730	11.600

Os dados apresentados na Tabela 17 demonstram que, embora os raios das zonas de ameaça sejam superiores nos períodos noturnos, o número de pessoas potencialmente expostas é superior

no período da tarde. Infere-se, portanto, que a ocupação diurna das zonas afetadas é superior relativamente à ocupação noturna, o que condiz com a presença de algumas indústrias e estabelecimentos de comércio e serviços nesta zona. Tal facto contribui, inevitavelmente, para uma maior presença de pessoas nestes locais. Refira-se, no entanto, que grande parte do edificado na área afetada é de cariz habitacional.

Constata-se, decorrente da análise da Tabela 17, que, no caso mais desfavorável, podem ser afetadas um total de 12.282 pessoas, sendo que, destas, 2.711 são potenciais fatalidades e 6.775 podem sofrer queimaduras de 2º grau.

No que concerne ao edificado, as zonas de ameaça produzidas representam-se, espacialmente, na Figura 49.

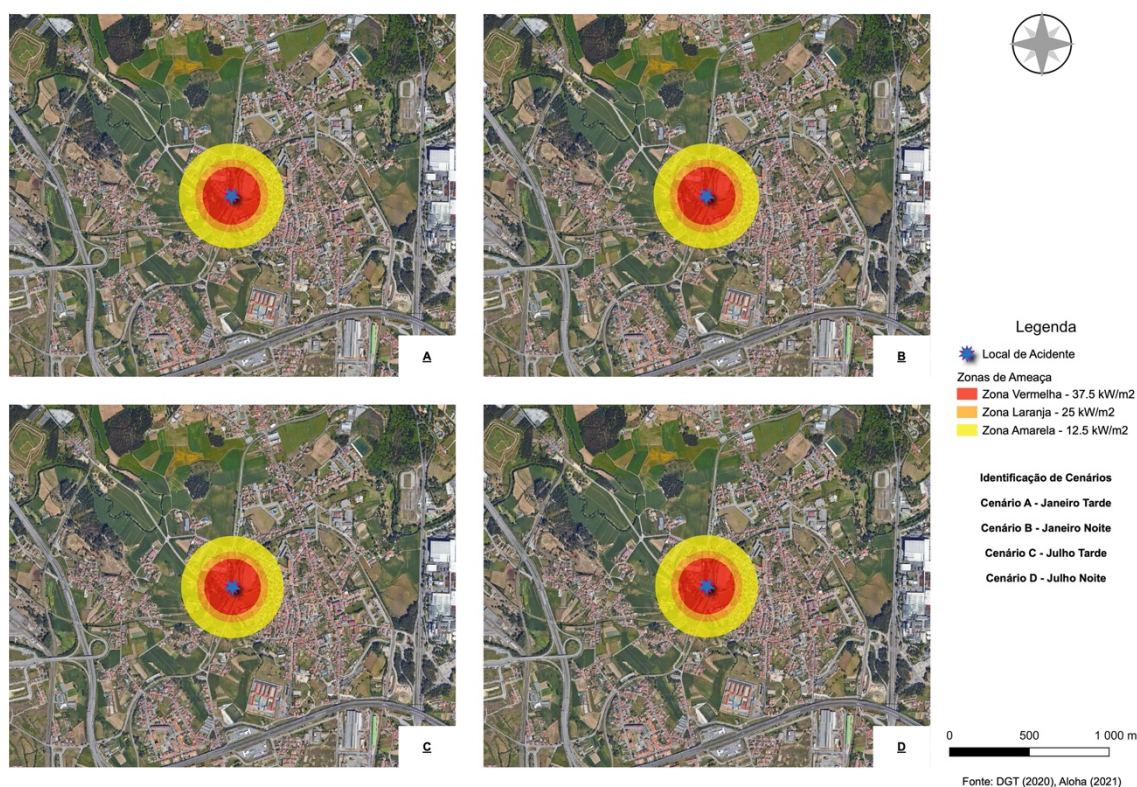


Figura 49. Zonas de ameaça para o edificado provocadas pelos efeitos térmicos do BLEVE

A figura anterior demonstra que as oscilações entre as zonas de ameaça dos diferentes cenários são pouco relevantes, pese embora, sejam muito inferiores quando comparadas com as zonas de ameaça produzidas para as populações.

Também neste caso os cenários mais desfavoráveis tendem a ocorrer nos meses mais frios e nos períodos noturnos. O cenário mais desfavorável de toda a análise é o da noite de fevereiro onde se registam raios de 329, 228 e 180 metros, distribuídos pelas zonas amarela, laranja e vermelha respetivamente. Em termos médios, os resultados demonstraram que, para todo o estudo, os valores são de 323, 223 e 177 metros, organizados pela mesma ordem. Assim, confirma-

se que as oscilações neste âmbito são também muito reduzidas, o que seria expectável de acordo com a natureza térmica do fenómeno. Os raios das zonas de ameaça em causa, para toda a análise, representam-se na Figura 50.

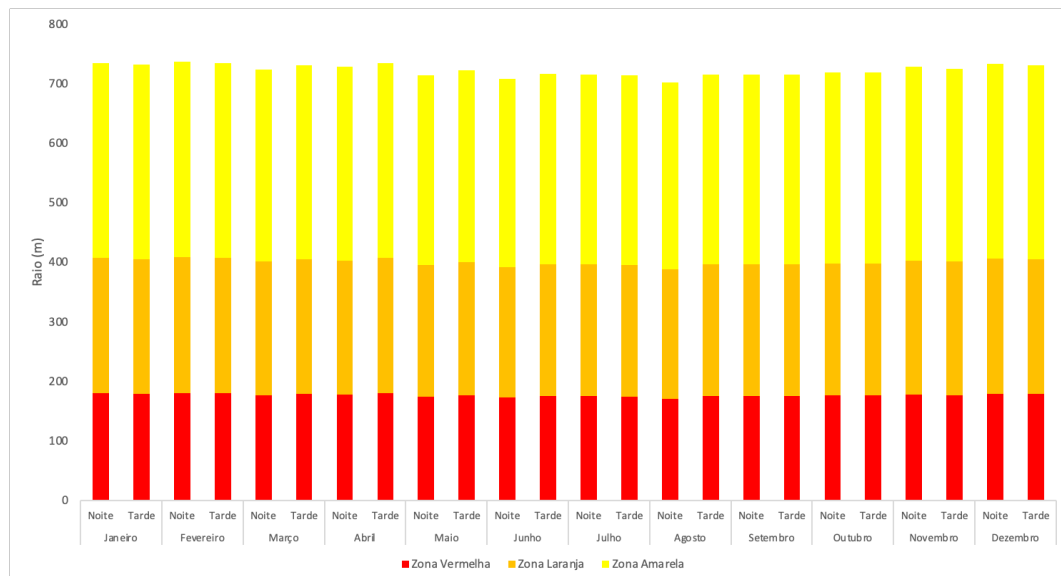


Figura 50. Raios das zonas de ameaça suscetíveis de afetar edificado provocadas pelo BLEVE

As operações espaciais efetuadas em ambiente SIG permitiram verificar o número de edifícios potencialmente expostos por estas zonas de ameaça, apresentando-se a sua quantificação na Tabela 18.

Tabela 18. Número de edifícios afetados pelos efeitos térmicos do BLEVE

Mês e Período		Janeiro		Julho	
		Noite	Tarde	Noite	Tarde
Zona de Ameaça	Vermelha	96	96	95	95
	Laranja	200	200	199	184
	Amarela	609	609	607	607

Constata-se que, no caso mais desfavorável, podem ser afetados, um total de 609 edifícios, dos quais 200 são abrangidos pela zona de ameaça laranja e 96 pela zona vermelha, estes últimos, afetados severamente.

Assinale-se também que, ao contrário do verificado nas modelações de *pool fire*, os efeitos térmicos do BLEVE podem já atingir alguns elementos sensíveis e/ou estratégicos.

Na zona laranja não se verifica a presença de elementos estratégicos e/ou sensíveis, porém, na zona amarela, existe já algum edificado com estas características.

No âmbito da proteção e socorro, regista-se a afetação do edifício do Corpo de Bombeiros Voluntários (CBV) de Leça do Balio e dos operacionais no seu interior com radiação cujo valor de intensidade se cifra, aproximadamente, nos 2,5 kW/m². Este valor de intensidade de radiação provocaria, segundo Buettner e Zawistowski *et al.*, dor grave ao final de 45 segundos e queimaduras de 2º grau ao final de 187 segundos (1951; 1977). Existe ainda a possibilidade de ocorrerem danos, embora diminuta, nas viaturas de socorro e noutras infraestruturas importantes como, por exemplo, antenas rádio para comunicações. Se esta situação se concretizar, a operacionalidade do corpo de bombeiros poderá ser condicionada. Na zona amarela podem ainda ser afetados outros elementos sensíveis, tais como:

- Estabelecimento Prisional do Porto;
- Escola Básica do Araújo e Escola Básica de Leça do Balio;
- Centro de Dia e Lar do Centro Social de Leça do Balio;
- Infantário do Centro Social de Leça do Balio;
- 3 Farmácias;
- Complexo Desportivo de Custóias.

Refira-se, no entanto, que a probabilidade de as pessoas que estejam no interior dos edifícios ou complexos anteriormente mencionados, incluindo o do CBV Leça do Balio, serem afetadas é relativamente diminuta, atendendo ao fator de proteção que as construções conferem. Não obstante, é necessário ter em conta os danos que o edificado possa sofrer em consequência desta exposição (Li *et al.*, 2019).

O restante edificado que poderá ser afetado é, essencialmente, de cariz habitacional, embora se registam também algumas frações de comércio e serviços, de dimensões reduzidas. No entanto, as situações mais gravosas, verificam-se em duas indústrias próximas da linha de Leixões, as empresas Petibol e Teinjin Automotive (antiga Inapal Plásticos). Estes estabelecimentos concentram um número relativamente alto de trabalhadores rondando, no seu conjunto, 400 a 500 pessoas. Nestes casos, é fortemente expectável que os trabalhadores em causa tenham morte imediata atendendo aos valores de intensidade de radiação que, nestes complexos, podem oscilar entre os 75 e os 98 kW/m², mesmo com a atenuação que o edificado possa oferecer. Note-se que, para Cameron e Raman (2005a), a exposição de um ser humano a radiação térmica na ordem dos 35 kW/m² pode causar morte instantânea.

Por fim, refira-se que os valores de intensidade de radiação mais próximos da fonte podem atingir os 105 kW/m², desconhecendo-se as consequências exatas da exposição a estes níveis de radiação. Contudo, infere-se que o cenário seja de total destruição, incluindo, infraestruturas rodoviárias, ferroviárias (linha de Leixões e linha C da Metro do Porto) e de comunicações.

5.5.3. Acidentes com diisocianato de tolueno

Tal como descrito na caracterização do problema, nos acidentes com diisocianato de tolueno os resultados obtidos nas modelações representam a dispersão de uma nuvem tóxica como consequência da fuga da matéria. Como se verá, os resultados demonstraram, ao contrário do verificado para os acidentes com efeitos térmicos, grande variabilidade na definição das zonas de ameaça. Foi possível observar diferentes padrões na dispersão das nuvens, tanto diários como sazonais, sublinhando a influência das condições meteorológicas no comportamento das mesmas.

Por forma a manter a coerência no estudo efetuado, serão igualmente analisados os meses de janeiro e julho para análise de elementos expostos e para representar graficamente as zonas de ameaça. Nesse sentido, apresentam-se, na Figura 51, as zonas de ameaça produzidas para os cenários da tarde e da noite dos meses de janeiro e julho, podendo as restantes serem consultadas no Anexo F.

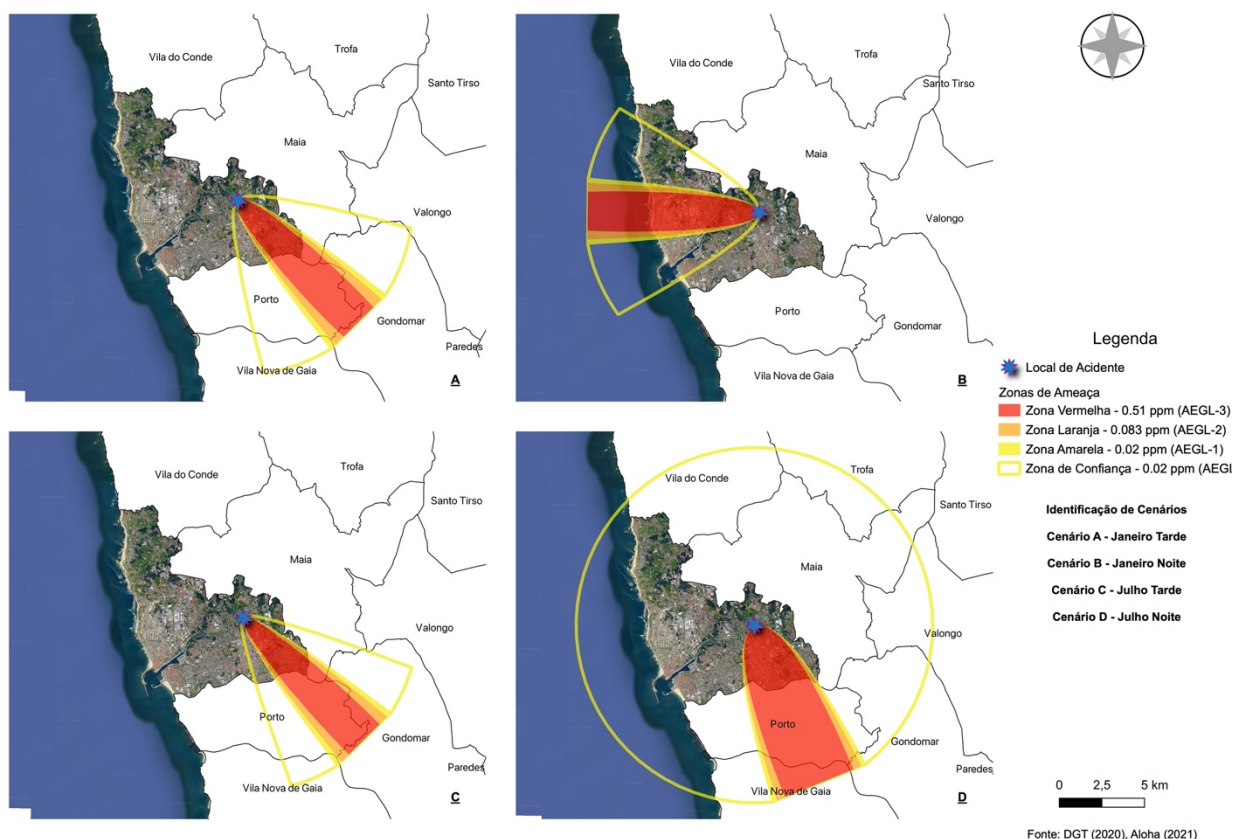


Figura 51. Zonas de ameaça produzidas pela nuvem tóxica, por mês e altura do dia

A Figura 51 expressa, de forma clara, a dimensão das áreas potencialmente afetadas pelas nuvens tóxicas em caso de acidente. Sobressai também a influência do vento na propagação destas nuvens, percecionando-se, igualmente, a existência de diferentes padrões na dispersão das mesmas. É assim possível verificar diferentes comportamentos entre dia e noite e também entre

estações do ano. Verifica-se, igualmente, que o formato das nuvens também é influenciado pelas variáveis meteorológicas.

Por forma a complementar a informação já exibida na figura anterior, apresenta-se, na Figura 52, as áreas das zonas potencialmente afetadas para todas as modelações efetuadas.

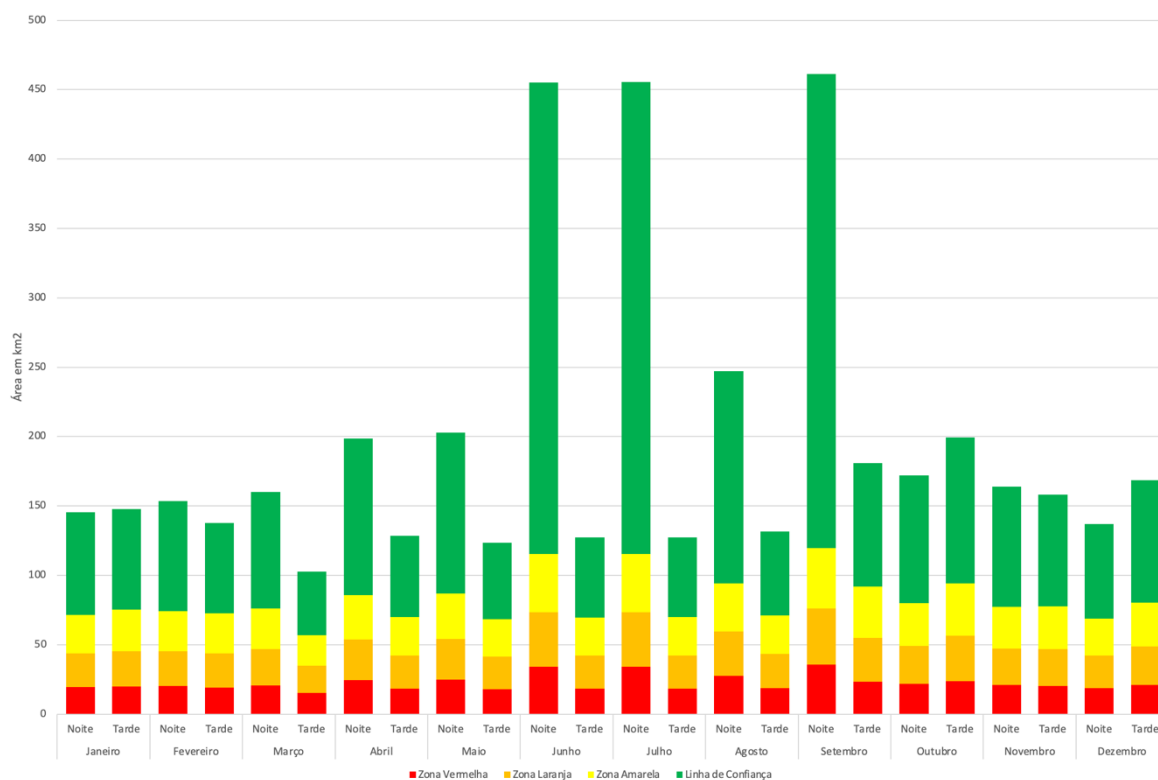


Figura 52. Áreas em (km²) das zonas de ameaça

Os resultados apresentados demonstram de forma objetiva os padrões sazonais existentes, podendo-se interligar as estações de inverno e outono e primavera e verão. Observa-se que, entre os meses de outubro e março, os resultados são pouco variáveis, caracterizando estes meses o primeiro grupo sazonal, o de outono e inverno.

A partir do mês de abril, surge o segundo grupo sazonal, o de primavera e verão. Os resultados obtidos para estes meses demonstram grande estabilidade nas áreas afetadas, observando-se, porém, um agravamento destas nos períodos noturnos dos meses de junho, julho e setembro, devido, essencialmente, a condições de maior estabilidade atmosférica.

Embora as condições de simulação sejam muito parecidas nos meses de primavera/verão, denota-se uma grande diminuição na área de confiança no período noturno do mês de agosto que será debatida no ponto seguinte.

Os resultados apresentam também um padrão para cenários mais gravosos quando a estabilidade atmosférica é superior (classes E e F). Note-se que as zonas de ameaça produzidas pelo Aloha® representam, no âmbito da formação de nuvens tóxicas, a probabilidade de o poluente

atingir as camadas mais baixas da atmosfera, suscetíveis de afetar populações (EPA & NOAA, 2007). Este ponto será igualmente discutido no ponto seguinte.

Por outro lado, os resultados da Figura 51 (cenários A e D) demonstram que as plumas assumem formatos mais definidos nos meses de inverno e outono, apresentando formatos aproximadamente cónicos, ao passo que, nos restantes meses, o seu formato das nuvens é mais difuso e incerto, por vezes, ovais.

Uma vez mais, verifica-se aqui uma relação com as classes de estabilidade atmosférica. No caso, em situações de maior instabilidade atmosférica, o formato das nuvens é, aproximadamente, cónico. Tal situação decorre de um comportamento altamente influenciado pelo vento. Nos meses de primavera/verão, em virtude de menores velocidades do vento e maior estabilidade atmosférica, as plumas tóxicas já assumem formatos mais ovais e, no caso das áreas de confiança, formatos aproximados a circunferências, devido à elevada imprevisibilidade do comportamento das nuvens.

Por fim, também nos meses de primavera/verão, os contrastes entre os diferentes períodos diários são mais acentuados, tanto ao nível da extensão geográfica das plumas, que é maior nos intervalos noturnos, mas também na direção das mesmas. As modelações mostram grandes diferenças nas áreas potencialmente afetadas, sendo que, no período diurno, as nuvens movimentam-se, sobretudo, na direção Noroeste-Sudeste, podendo atingir concelhos adjacentes a Matosinhos. Este comportamento resulta, essencialmente, do padrão de vento verificado no território nos períodos da tarde, as já mencionadas “nortadas” (ver cenário C da Figura 51).

Já as nuvens dos períodos noturnos, desenvolvem-se, na sua grande maioria, na direção Este-Oeste, o que, em função do local do acidente, potencia situações em que o concelho de Matosinhos será mais afetado em termos espaciais e de elementos expostos. Os únicos desvios a estes comportamentos padrão verificam-se somente nos meses de novembro e dezembro, atendendo à proveniência de sul dos ventos, principalmente no período diurno. Tal facto, contribui, nestas situações, para a afetação de concelhos próximos ao de Matosinhos.

Na Tabela 19 apresentam-se os dados obtidos para as áreas potencialmente afetadas, onde se explicitam também outros dados como a direção de movimento da nuvem e o seu formato, funcionando como complemento da informação contida na Figura 52.

Tabela 19. Áreas potencialmente afetadas e características das nuvens tóxicas

Mês	Horário	Área potencialmente afetada em km ²				Formato Aproximado	Direção da Nuvem
		Zona Confiança	Zona Amarela	Zona Laranja	Zona Vermelha		
Janeiro	14h - 18h	72,7	29,7	25,8	19,7	Cónica	NW-SE
	23h - 03h	73,8	27,6	24,4	19,5	Cónica	E-O
Fevereiro	14h - 18h	65,2	28,6	24,9	19,0	Cónica	NW-SE
	23h - 03h	79,5	28,6	25,3	20,2	Cónica	E-O
Março	14h - 18h	45,8	22,0	19,4	15,4	Cónica	NW-SE
	23h - 03h	84,0	29,3	26,0	20,8	Cónica	E-O
Abril	14h - 18h	58,6	27,6	24,0	18,3	Cónica	NW-SE
	23h - 03h	113,0	32,2	29,2	24,4	Cónica/Oval	ENE-WSW
Maio	14h - 18h	54,9	27,0	23,5	18,0	Cónica	NW-SE
	23h - 03h	116,0	32,6	29,5	24,8	Cónica/Oval	N-S
Junho	14h - 18h	57,8	27,4	23,9	18,3	Cónica	NW-SE
	23h - 03h	340,0	42,0	39,0	34,3	Oval/ Circunferência	NNW-SSE
Julho	14h - 18h	57,4	27,6	24,0	18,4	Cónica	NW-SE
	23h - 03h	340,0	42,2	39,0	34,3	Oval/ Circunferência	NNW-SSE
Agosto	14h - 18h	60,3	28,1	24,5	18,7	Cónica	NW-SE
	23h - 03h	153,0	34,6	31,8	27,7	Oval	NNW-SSE
Setembro	14h - 18h	89,2	36,9	31,7	23,2	Cónica/Oval	NW-SE
	23h - 03h	342,0	43,5	40,4	35,6	Oval/ Circunferência	E-O
Outubro	14h - 18h	105,0	37,9	32,6	23,9	Cónica/Oval	E-O
	23h - 03h	92,1	30,8	27,3	21,8	Cónica/Oval	E-O
Novembro	14h - 18h	80,5	30,5	26,6	20,4	Cónica	S-N
	23h - 03h	86,8	29,8	26,4	21,0	Cónica	E-O
Dezembro	14h - 18h	88,4	31,5	27,5	21,2	Cónica/Oval	S-N
	23h - 03h	68,0	26,6	23,5	18,7	Cónica	E-O

A análise dos valores apresentados na Tabela 19 permite verificar que as médias das áreas das zonas de ameaça são de 114, 31, 28 e 22 km², distribuídos, respetivamente, pelas zonas de confiança, amarela, laranja e vermelha. As maiores flutuações ao nível de valores verificam-se nas zonas de confiança, variando estes 80,02% face ao valor médio. Efetuando a mesma comparação para as restantes zonas de ameaça, a variação é de 24,38% para a zona vermelha, 19,30% para a zona laranja e 17,39% para a zona amarela.

Por outro lado, refira-se que o cenário mais gravoso se verifica, em termos de áreas potencialmente afetadas, no período noturno do mês de setembro, cujos resultados demonstram que a zona vermelha pode atingir os 35,6 km², 40,4 km² a zona laranja e 43,5 km² a zona amarela. A zona de confiança, devido à alta imprevisibilidade na dispersão da nuvem, é de 342 km², superando em larga escala o território de Matosinhos.

No que concerne à afetação dos elementos expostos, apresenta-se na Tabela 20 o número de pessoas afetadas pelas nuvens tóxicas, de acordo com informação do INE.

Tabela 20. Número de pessoas afetadas pelos efeitos das nuvens tóxicas

Mês e Período/ Zonas de Ameaça		Nº de Pessoas Potencialmente Afetadas			
		Zona Confiança	Amarela	Laranja	Vermelha
Janeiro	Noite	90.171	37.422	28.417	17.567
	Tarde	81.825	46.157	36.132	26.090
Julho	Noite	174.931	67.248	58.301	48.224
	Tarde	69.576	39.997	31.364	23.155

Note-se que os resultados apresentados na Tabela 20 dizem respeito somente ao território de Matosinhos, não estando considerado populações dos concelhos envolventes. Dos casos analisados na tabela anterior, é possível verificar que o mês de julho é o mais gravoso, podendo, no caso mais desfavorável atingir 67.248 pessoas, ou, em último caso, atingir toda a população do concelho com efeitos transientes e reversíveis. Atente-se, no entanto, que 48.224 pessoas podem mesmo morrer ou 58.301 sofrer efeitos irreversíveis ao fim de 60 minutos de exposição.

Contudo, tal como seria expectável, nos locais mais próximos da fonte de fuga, a concentração será muito superior, registando-se locais onde a mesma poderá rondar os 70 ppm⁷. Refira-se que estes valores dizem respeito a concentrações do poluente no exterior. Já no interior dos edifícios a mesma baixa significativamente, conforme comprova a Figura 53. No entanto, é necessário ter presente que, para este valor de concentração do poluente se manter em limiares não perigosos, os edifícios devem estar devidamente selados e não possuir sistemas de ventilação e ar condicionado que façam admissão de ar com recurso ao ar exterior.

⁷ ppm – partes por milhão

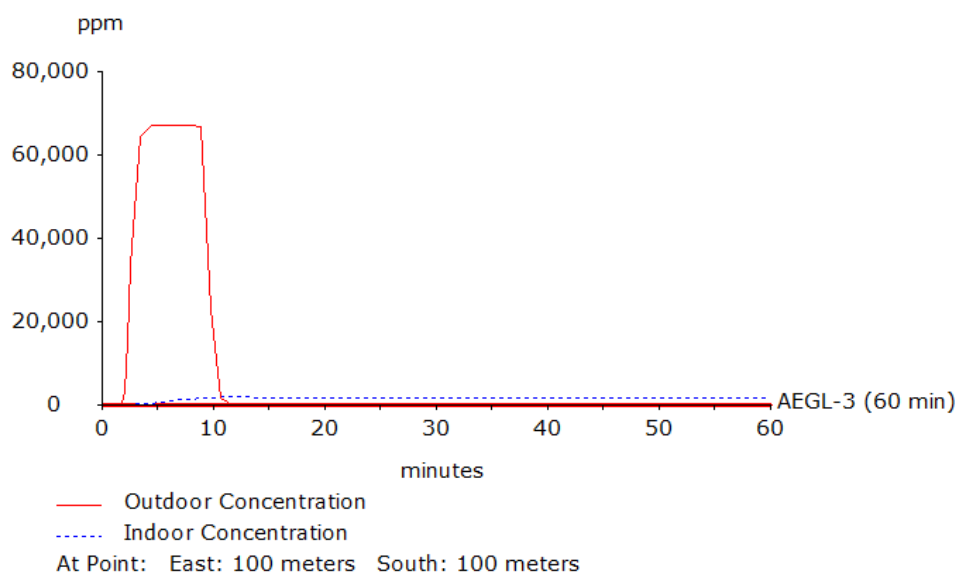


Figura 53. Concentrações do poluente a 100 metros da fuga | Fonte: Aloha ®

Entretanto, podem ser afetados de forma gravosa também os concelhos do Porto, Vila Nova de Gaia e, mesmo, Gondomar, nomeadamente, nos cenários do mês de julho. No entanto, realce-se, que no cenário da noite de julho, outros podem ser atingidos como é o caso de Vila do Conde, Maia, Valongo ou Trofa, revelando o carácter catastrófico que um acidente desta natureza pode possuir.

No cenário mais desfavorável, ou seja, na noite do mês de julho, podem ser afetados de forma gravosa um conjunto de elementos sensíveis e/ou estratégicos no concelho de Matosinhos. Na zona vermelha regista-se a possível afetação, com efeitos graves ou morte imediata, de áreas onde se enquadram 2 esquadras da PSP (Custóias e S. Mamede de Infesta), 2 quartéis de corpos de bombeiros (Leça do Balio e S. Mamede de Infesta), 1 centro de saúde (USF Portas do Sol), 16 estabelecimentos escolares, para além de vários infantários e centros de dia e lares de idosos. Acresce também a presença, nesta zona de ameaça, de complexos desportivos, que são locais onde se podem concentrar um número elevado de pessoas. Na zona de ameaça laranja, para além dos elementos anteriormente mencionados, podem ser afetados 2 estabelecimentos, nomeadamente, uma unidade de saúde e 1 escola.

5.6. Discussão

Nesta secção serão feitas as devidas considerações sobre os resultados obtidos, mas, também, as ilações que os mesmos representam para a gestão operacional e de emergência de um acidente desta natureza, sobretudo, para os agentes de proteção civil.

5.6.1. Acidentes com metano

As modelações efetuadas com o metano permitem confirmar a premissa que os efeitos térmicos de um acidente são afetados de uma forma muito residual pelas condições meteorológicas. Apesar de pouco significativas, as oscilações entre simulações foram mais sentidas no caso do *pool fire*. Atendendo a que os resultados mais gravosos neste âmbito se verificaram nos períodos diurnos dos meses de verão, tal situação poderá ser explicada pelo um conjunto de fatores meteorológicos. Segundo Raj (2005) e Zhao *et al.* (2018), os resultados existentes nestes meses indiciam que as poças sofreram uma maior e mais rápida vaporização, em virtude de uma maior temperatura ambiente, mas, também, de uma maior incidência solar devido ao fraco coberto de nuvens. Por outro lado, os ventos fracos e as condições de maior estabilidade atmosférica promoveriam, no local, uma maior concentração de combustível, o que permitiria a queima de maior percentagem do mesmo, produzindo, consequentemente, valores de intensidade de radiação mais elevados (Zhao *et al.*, 2018). As zonas de ameaça provocadas pelos *BLEVE*, por sua vez, oscilam de forma muito residual, nunca superior a 2% relativamente ao valor médio. Ao contrário do *pool fire*, a ocorrência de *BLEVE* não é afetada pelas variáveis meteorológicas dado que o fenómeno ocorre somente no interior da cisterna e não depende de fatores externos. Contudo, as pequenas oscilações verificadas podem ser associadas às temperaturas ambiente no exterior, tendo-se verificado que os níveis de radiação atingiam maiores distâncias em cenários de menor temperatura ambiente. De acordo com Bertola (2010), esta situação é associada a fenómenos de termodinâmica, nomeadamente, transferências de calor entre ambientes com diferentes temperaturas e à sensação causada nas pessoas. A ocorrência de fenómenos mais gravosos nos meses de inverno condiz, de igual forma, com a menor incidência solar verificada nesses períodos, o que acentua ainda mais o efeito térmico de um *BLEVE*.

Em suma, os fenómenos de *pool fire*, embora menos intensos comparativamente ao *BLEVE*, são os que podem sofrer mais alterações decorrentes das condições meteorológicas, cujas variações devem ser tomadas em conta na gestão operacional e de emergência, tendo, em atenção, por exemplo, a afetação de elementos sensíveis e/ou estratégicos.

Conhecidas estas variações e tendências no comportamento deste fenómeno, é possível otimizar a atuação no sentido de conferir maior proteção aos elementos expostos que poderão ser mais facilmente atingidos, promovendo, se necessário, a evacuação das populações mais próximas, mas a uma escala adequada.

Por outro lado, as simulações efetuadas quantificaram o poder destrutivo que era sobejamente associado aos fenómenos de *BLEVE*, sendo também esta quantificação de extrema importância na organização e planeamento de um teatro de operações, particularmente, no posicionamento de

meios, mas, também, na gestão da restante emergência, como é o caso da evacuação das populações.

Vendo disposto no Manual de Intervenção em Emergências com Matérias Perigosas Químicas, Biológicas e Radiológicas (MIEMP) da ANEPC (2010), nomeadamente, a Guia 115, são definidos os seguintes procedimentos operacionais para a gestão de uma ocorrência com gases inflamáveis:

- Evacuação inicial das populações em todas as direções em 100 metros, como medida de precaução;
- Caso o derrame seja superior a 200 litros, deve ser considerada uma evacuação de 800 metros em todas as direções;
- Caso o vagão ou camião-cisterna estiverem envolvidos em incêndio, considerar evacuação e isolamento de 1600 metros em todas as direções;
- Em caso de incêndio a envolver tanques, combater o incêndio a partir da distância máxima ou de detetores.

Os valores acima definidos traduzem-se nas seguintes áreas a evacuar (ver Tabela 21):

Tabela 21. Áreas a evacuar pelo MIEMP

Distância linear (m)	Área a evacuar (km ²)
100	0,03
800	2,01
1600	8,04

Os valores de intensidade de radiação térmica (em kW/m²) verificados, segundo as modelações, nas distâncias definidas pelo MIEMP para evacuação, são os que se apresentam na Tabela 22.

Tabela 22. Valores de intensidade de radiação térmica (em kW/m²) nas áreas de segurança | Fonte: Aloha

Fenómeno	Distância a partir do ponto de origem (m)		
	100	800	1600
Pool Fire	0,85	0	0
Bleve	80,3	1,92	0,45

O disposto na Tabela 22 demonstra que uma primeira evacuação é eficaz para prevenir a ocorrência de uma situação de *pool fire*, dado que, a 100 metros da fonte, o valor de intensidade de radiação ronda os 0,85 kW/m². Este valor, segundo Buettner (1951) e Zawistowski *et al.* (1977), não provocará danos significativos nas populações. Atente-se que os mesmos autores referem que, para um valor de intensidade de radiação de 1 kW/m², os primeiros efeitos (dor grave) só surgem

após uma exposição de 115 segundos. Já para uma queimadura de 2º de grau seria necessária uma exposição de 663 segundos.

Tais pressupostos, refira-se, aplicam-se a pessoas que se encontrem no exterior/ar livre, sendo que, caso estejam no interior de habitações ou outros edifícios, os efeitos poderão mesmo não ser sentidos (Raj, 2005; Li *et al.*, 2019).

Por outro lado, uma situação de *pool fire* pressupõe, a princípio, um derrame em quantidade igual ou superior a 200 litros o que, pelo disposto no MIEMP, já implica uma evacuação em 800 metros em todas as direções, mesmo não existindo incêndio. Contudo, a evacuação de uma área desta dimensão, pelos dados apresentados na Tabela 22, só faria sentido caso existisse incêndio no exterior do vagão ou cisterna, já que representa uma potencial situação de *BLEVE*. Nesse caso, a 800 metros de distância, o valor de intensidade de radiação, em caso de *BLEVE*, seria de, aproximadamente, 1,92 kW/m². Assumindo os efeitos fisiológicos para o valor interior superior do anteriormente apresentado, as populações sofreriam dor grave somente ao final de 45 segundos ou queimadura de 2º grau ao final de mais de 3 minutos de acordo com Buettner (1951) e Zawistowski *et al.* (1977). Entende-se, pois, que estes hiatos temporais permitem a adoção de medidas de autoproteção por parte da população por forma a não sofrerem efeitos graves.

Em alternativa, na possibilidade de se gerar uma nuvem inflamável, o procedimento mais adequado a adotar teria por base a direção do vento, não se compadecendo com a opção de evacuar em todas as direções (1977). É assim imperioso a disponibilidade e utilização destes dados meteorológicos por parte dos gestores de emergência.

Por fim, mesmo não sendo alvo de análise no presente estudo, a projeção de fragmentos em resultado da ocorrência de *BLEVE*, acabaria por ter um alcance, expectavelmente, não superior a 800 metros (Lisi *et al.*, 2015). No que concerne aos efeitos de sobrepressão, a onda de choque gerada, a 800 metros de distância da fonte, acabará também por não atingir de forma gravosa as populações, atendendo às quantidades de produto envolvido (Lees, 1996; Cozzani *et al.*, 2006).

Assim, verifica-se que a zona de segurança de 1600 metros, definida pelo MIEMP para situações de incêndio a envolver a cisterna ou vagão, parece excessiva e sem uma justificativa clara e objetiva, mesmo na possibilidade da ocorrência de *BLEVE*.

Ao nível da gestão de emergência, num quadrante de serviços de proteção civil, nomeadamente ao nível das ações de evacuação das populações, este facto possui um impacte muito grande atendendo às dificuldades e logística que uma operação desta natureza acarreta. Naturalmente, evacuar uma área de, aproximadamente, 2 km² é muito diferente de evacuar uma área 4 vezes superior. Esta diferença, para além do número de pessoas, implica a evacuação de mais elementos sensíveis como lares ou escolas, o empenhamento em número muito superior de elementos das

forças de segurança para colaborar nas ações de evacuação e, também, uma logística totalmente distinta para as zonas de concentração da população (ZCP) por forma a receber e a manter as populações com condições de sobreviverem. Para além dos recursos materiais e humanos necessários em maior medida, o tempo é também um fator a ponderar nestas ações, sendo expectável que o tempo que um processo de evacuação para a área definida pelo MIEMP (1600 metros) não se compadeça com o tempo de gestão do acidente no local, sendo, previsivelmente, superior (Zhang *et al.*, 2017).

A Figura 54 demonstra, espacialmente, as diferenças entre as zonas potencialmente afetadas por um BLEVE e as zonas de proteção definidas pelo MIEMP.

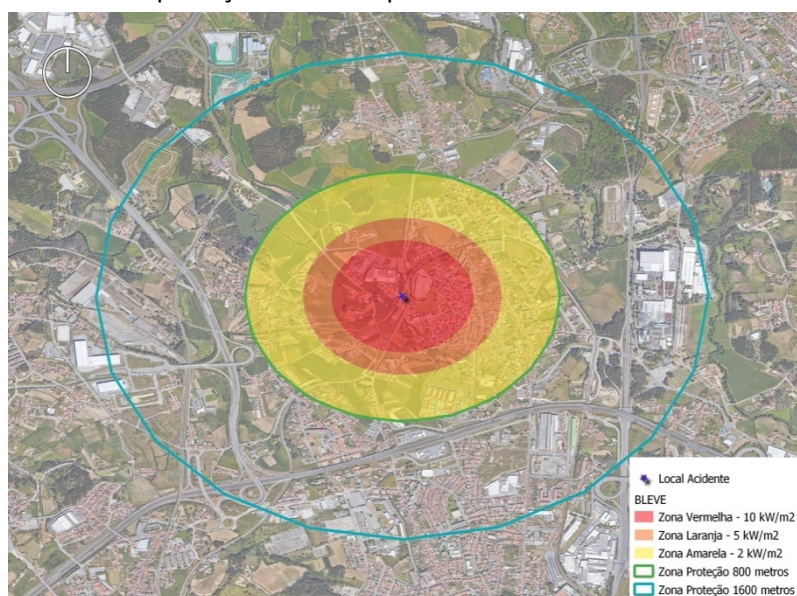


Figura 54. APA e áreas a evacuar pelo MIEMP

Perante o apresentado anteriormente, para além de se recomendar a revisão do MIEMP, urge o levantamento, por parte do SMPC Matosinhos, de todos os elementos sensíveis/estratégicos e número de pessoas potencialmente afetadas que possam estar numa faixa de 800 metros à volta da linha de Leixões. Este levantamento providenciaria o acesso à informação de forma rápida e simples, essencial para um processo de tomada de decisão, tanto operacional como política. Por outro lado, esta informação permitiria, igualmente, uma mobilização de meios mais rápida e hierarquizada segundo um conjunto de prioridades definidas previamente, em função dos elementos estratégicos/sensíveis atingidos.

Entende-se, pois, que esta informação deverá constar de um plano prévio de intervenção (PPI) exclusivo da linha da Leixões, apoiada em cartografia temática. Esta cartografia, atendendo às potencialidades de interação e manipulação de elementos geográficos do sistema municipal de gestão de emergência de Matosinhos, seria apenas a este, por forma a que, um operador da central da proteção civil, num curto espaço de tempo, tivesse conhecimento das áreas potencialmente

afetadas e reunisse informação para a tomada de decisões, despoletando também os contactos necessários para iniciar as ações de gestão de emergência.

Por outro lado, entende-se que seria importante que as pessoas, mas sobretudo as empresas e organizações, tivessem conhecimento das medidas de autoproteção a tomar em caso de acidente desta natureza. No caso das organizações e empresas, os procedimentos em caso de emergência nestes casos podem ser vertidos nos respetivos *dossiers* de medidas de autoproteção / planos de segurança internos. Por norma, esses *dossier* são muito vocacionados para os riscos internos, sobretudo o de incêndio (Silva, 2016), contudo, era recomendável que as mesmas previssem, também, procedimentos para lidar com riscos tecnológicos com origem no exterior.

Como complemento, a previsão das áreas de afetação também permitirá às entidades licenciadoras, no caso, a câmara municipal, atuar num quadro mais preventivo, nomeadamente, através do planeamento e ordenamento do território. Em termos práticos, seria benéfica a criação de condicionantes à edificação nas áreas envolventes à linha, principalmente, nas áreas de ameaça vermelhas e laranja, por forma diminuir o número de elementos expostos a um possível acidente, bem como a gravidade dos seus efeitos (Walker, 1995; Khanmohamadi *et al.*, 2018).

Tal como acontece também na edificação em zonas rurais, para estes casos seria proveitoso, também, se fossem aplicadas exigências especiais na construção, nomeadamente, através de regulamentos municipais. Estas exigências passariam, por exemplo, pela construção e utilização de revestimentos ignífugos ou com uma classe de reação ao fogo adequada, com o objetivo de os mesmos não se constituírem como focos secundários de incêndio e tornar a gestão de emergência mais complexa, para além da destruição do edificado (Intini *et al.*, 2019).

No domínio dos elementos das forças de proteção e socorro, envolvidos mais diretamente no combate à emergência, acresce referir que estes, com EPI, encontram-se em condições consideradas perigosas quanto expostos a valores de radiação de 15 kW/m² ou em situação crítica a partir dos 36 kW/m², para exposições superiores a 1 minuto (Alarifi *et al.*, 2014). Já Heus e Denhartog definem como valores aceitáveis para trabalho dos operacionais, com EPI, exposições até 6,3 kW/m² (em movimento) ou 4,6 kW/m² (parado). Os mesmos autores referem que acima destes limiares, os operacionais poderão começar a sentir dor (2017).

O que está definido pelo MIEMP é, em caso de incêndio a envolver o tanque, que as equipas se mantenham longe do mesmo, não sendo explícita a distância mínima que os operacionais devem assegurar. Assim, de acordo com as modelações efetuadas e de acordo com os valores de referência acima mencionados, as distâncias a assegurar em relação à fonte, pelos operacionais, são as que se apresentam na Tabela 23, sem prejuízo da perigosidade de alguns níveis de radiação.

Tabela 23. Distâncias a assegurar em relação à fonte por parte dos operacionais

Fenómeno	Intensidade de radiação (kW/m ²)			
	4,6	6,3	15	36
Pool Fire (m)	45	37	25	12
Bleve (m)	541	460	298	185

Os dados da Tabela 23 fornecem importantes dados para a definição e organização de um TO, nomeadamente, ao nível do posicionamento dos meios e operacionais que se encontrem mais diretamente envolvidos na resposta à emergência. Desde logo se percebe que o surgimento de sinais prévio de *BLEVE* deverá promover, no imediato, a evacuação de todos os operacionais do TO, dado que as distâncias de segurança mínimas compreendem valores muito altos. Já no caso do *pool fire*, as distâncias mencionadas na Tabela 23 permitem uma mais fácil organização e disposição dos recursos humanos e materiais. No entanto, no caso em estudo, a definição de um teatro de operações desta natureza, para além de condicionado por estas zonas de segurança que deverão ser observadas, poderá também ser dificultado por questões de acessibilidade à linha. A mesma, ao longo do seu traçado, não é devidamente servida por acessos viários ou os existentes tornam difícil a colocação de meios de socorro em trabalho. Atente-se, complementarmente, que o troço junto ao vale do Leça é totalmente inacessível a viaturas, atendendo à zona declivosa e/ou escarpada onde se insere, sendo o acesso apeado também difícil, conforme se pode perceber na Figura 55. Porém, um acesso apeado pouco ou nada poderá ajudar no combate ao sinistro se a distância aos veículos for elevada, atendendo às perdas de pressão das linhas de água.



Figura 55. Traçado da linha de Leixões na zona da Ponte do Carro (Guifões)

5.6.2. Acidentes com diisocianato de tolueno

Os resultados obtidos nas modelações de acidente envolvendo diisocianato de tolueno evidenciaram muitos e importantes contrastes. Desde logo, conforme já havia sido mencionado, denota-se dois padrões claros no comportamento das nuvens tóxicas, tendo sido possível perceber importantes diferenças entre os períodos diurnos e noturnos e, também, entre diferentes estações do ano.

Os contrastes observados nos dois períodos diários devem-se, essencialmente, aos padrões de vento existentes, mas, também, às diferenças ao nível das classes da estabilidade atmosférica. Por um lado, os resultados demonstram que os ventos mais frequentes no período diurno, oriundos de Noroeste, tendem a afetar áreas de outros municípios, como Porto, Vila Nova de Gaia, Maia, Gondomar ou Valongo. Por outro, no período noturno, com ventos predominantes de Este, a afetação limita-se ao território de Matosinhos, abrangendo uma parte substancial deste. Em termos operacionais e de gestão de emergência, este facto permite também deduzir que uma emergência no período diurno implica, necessariamente, uma coordenação ao nível do distrito ou supramunicipal devido à afetação de vários concelhos. Nos cenários noturnos, por sua vez, a gestão da emergência pode ser, quase na sua totalidade, realizada pelos meios de socorro do concelho de Matosinhos, pelo menos, até que a capacidade local se esgote.

A diferença horária é também relevante noutro aspeto, nomeadamente, pelo processo de aviso às populações e respetiva adoção de medidas de autoproteção. Se por um lado, durante o dia, os meios de difusão dos avisos à população como as rádios, televisões, sítios da internet, SMS, aviso presencial por meios de socorro ou outros podem ser eficazes (Sousa *et al.*, 2020), durante a noite esta situação é totalmente diferente, implicando, necessariamente o envolvimento de muitos elementos de forças de segurança nestas ações. Tal situação poderá incrementar o tempo necessário ao aviso e contribuir para um atraso na adoção de medidas de autoproteção, como o fecho e afastamento das janelas, paragem de sistemas de ventilação, ou outros, ou, eventualmente, a evacuação das populações (Buribayeva *et al.*, 2015; Khankeh *et al.*, 2019).

Os resultados apontam também para um agravamento de áreas potencialmente afetadas nos períodos noturnos. Tal situação decorre das diferentes condições de estabilidade atmosférica. O padrão observado dita que quanto maior a instabilidade atmosférica menor será a probabilidade de um poluente atingir as camadas mais inferiores da atmosfera, diluindo-se este em concentrações não perigosas na atmosfera de uma forma mais rápida (Sorbján, 2003; Shie & Chan, 2013). Assim, atendendo a que os períodos noturnos, de uma forma geral, são associados a períodos de maior estabilidade atmosférica, potencialmente, os cenários serão mais gravosos neste período do dia.

Por essa mesma razão, no MIEMP, nas tabelas destinadas à definição de distâncias iniciais de isolamento e ação de proteção, as distâncias são superiores à noite, embora se desconheça os pressupostos utilizados para definição das respetivas áreas de isolamento e proteção e, por isso, se as mesmas se encontram enquadradas à realidade de territórios litorais como é o caso de Matosinhos.

Relativamente aos contrastes sazonais, estes são explicados pelas maiores velocidades de vento nos meses de outono / inverno e maior coberto de nuvens, o que, segundo a metodologia de *Pasquill-Gifford*, confere situações de maior instabilidade atmosférica. O paradigma é distinto nos meses de primavera e verão, observando-se ventos mais fracos e menor coberto de nuvens, logo, condições mais estáveis nas camadas mais baixas da atmosfera. É, portanto, expectável que os cenários gravosos ocorram nos meses de primavera e verão, sobretudo, nos períodos noturnos.

No entanto, note-se que, quando comparados os cenários diurnos de janeiro e julho, o cenário mais desfavorável é o de janeiro. Em condições de estabilidade atmosférica idênticas, a intensidade do vento acaba por ter um papel preponderante na propagação de uma nuvem poluente e, consequentemente, nas áreas afetadas. Nestes casos, quanto maior a velocidade do vento, maior será a extensão da nuvem, porém, mais afunilada, assumindo formatos cónicos bem definidos. Em contraponto, os resultados produzidos nas modelações realizadas demonstram que em situações de maior estabilidade atmosférica, associadas a baixas velocidades do vento, as plumas assumem formatos mais ovais e, nos meses de verão, circulares, representando um grande grau de incerteza na dispersão da nuvem e do respetivo poluente.

É também de assinalar o comportamento da nuvem no cenário noturno do mês de agosto, sendo que as áreas potencialmente afetadas associadas são substancialmente inferiores quando comparadas com os cenários noturnos de julho ou setembro. Esta diferença é explicada pelo ligeiro aumento da velocidade do vento na simulação da noite de agosto cujo valor se cifra nos 2,64 m/s, sendo que nos meses de junho, julho e setembro, os valores utilizados foram de 2,14 (junho e julho) e 2,07 m/s (setembro). As condições de elevada estabilidade atmosférica (classe F) e a oscilação positiva verificada na velocidade do vento acabou por se traduzir na melhor definição da nuvem e no aumento da previsibilidade do seu comportamento. Assim, o incremento da velocidade do vento, neste caso, que até poderá ser associado à ocorrência de brisas marítimas típicas de territórios litorais, pode contribuir para o ligeiro aumento da instabilidade atmosférica, promovendo a diminuição da área de confiança na noite de agosto e, assim, as áreas potencialmente afetadas. (Sorbjan, 2003; Sorte *et al.*, 2019).

Perante o apresentado no presente ponto, e se retomados os dados da Figura 30 e 30, verifica-se que uma parte significativa dos transportes efetuados na linha de Leixões se realiza em períodos

potencialmente mais graves, nomeadamente, nos períodos noturnos. Também ao nível da distribuição mensal é possível associar o regime de transportes existente a períodos susceptivelmente mais graves, existindo uma concentração no mês de maio e junho, a par de janeiro e fevereiro. É premente que os quadros logísticos da linha de Leixões se ajustem por forma a diminuir o risco potencial, sendo necessário a criação de mecanismos de articulação entre as operadoras, transportadoras e as entidades de proteção civil.

À semelhança do já assinalado para os acidentes envolvendo metano, é também neste caso importante a definição de procedimentos em caso de emergência, nas medidas de autoproteção dos edifícios, para fazer face à dispersão de nuvens tóxicas com origem exterior. Como foi possível verificar anteriormente, de acordo com a Figura 53, se comportamentos preventivos e reativos adequados forem adotados, o número de potenciais pessoas afetadas será substancialmente inferior, como consequência de exposições mais curtas e a quantidades inferiores do poluente.

Em complemento deste reforço nas medidas de autoproteção dos edifícios, é também necessário a difusão desta informação para a população em geral, principalmente, nos cuidados a ter no interior de habitações.

Por último, em termos operacionais, os contrastes existentes nos resultados, tanto ao nível da extensão das nuvens, o seu formato ou as direções do vento, devem ser, naturalmente, tidos em conta pelos agentes e entidades de proteção civil. Note-se que, no caso da dispersão de poluentes, a observação e análise permanente das condições meteorológicas é vital para uma correta e eficaz gestão de emergência, tanto ao nível da proteção de operacionais como das populações.

Verifica-se, no entanto, que o MIEMP não define com clareza as áreas de evacuação e proteção para o diisocianato de tolueno, ao contrário de outras substâncias, não estando incluída na Tabela 1 deste guia. Assim, a matéria em estudo está abrangida somente pela Guia 156, que define os seguintes procedimentos operacionais:

- Como medida de precaução, isolar em todas as direções, pelo menos 50 metros;
- Manter-se protegido pelo vento;
- As distâncias de proteção e evacuação são remetidas para a Tabela 1 do MIEMP;
- Caso haja incêndio a envolver o tanque ou cisterna, isolar em todas as direções 800 metros.

Ora, estas distâncias lineares acima referidas resultam nas seguintes áreas a proteger (ver Tabela 24).

Tabela 24. Distâncias e áreas a proteger | Fonte: MIEMP

Distância linear (m)	Área a evacuar/proteger (km ²)
50	0,008
800	2,01

Estas áreas a proteger ou evacuar, quando comparadas com as áreas potencialmente afetadas do cenário diurno de janeiro, são substancialmente inferiores. Iniciando a análise pela zona mais gravosa, a vermelha, a zona definida pelo MIEMP acaba por não dar resposta da forma mais adequada ao cenário apresentado, já que esta distância apenas oferece proteção a um número muito reduzido de elementos expostos, conforme evidencia a Figura 56.



Figura 56. Zonas de proteção definidas pelo MIEMP

Por outro lado, o isolamento de uma segunda área, numa distância de 800 metros como definido no MIEMP, também não se compadece com o comportamento de uma nuvem, já que esta

é fortemente influenciada, na maioria das situações, pela direção e intensidade do vento. O que se verifica é que os procedimentos definidos pela Guia 156 do MIEMP não têm isso em linha de conta. A ausência da definição das áreas a proteger nos períodos diurnos e noturnos no MIEMP, no caso concreto, para o diisocianato de tolueno, pode em muito contribuir para uma gestão de emergência que fique muito aquém no que concerne à proteção dos elementos expostos e colocar em risco um número muito elevado de pessoas.

Note-se, no entanto, demonstrada que está a influência das condições meteorológicas na gestão de um cenário de acidente desta natureza, que a “*standardização*” das distâncias constantes no MIEMP pode fornecer informações que pequem demasiado por excesso ou por defeito. Estas situações, num caso e no outro, constituem-se como fatores altamente condicionadores na gestão de emergência, principalmente, na administração logística associada a um processo de evacuação de populações, mas, também, ao volume expectável de pedidos de assistência pré-hospitalar e alarme social causado por um fenómeno que é desconhecido da grande parte das pessoas.

É assim necessário que os municípios que possuem um número significativo de transporte de matérias perigosas elaborem os seus planos prévios de intervenção (PPI) para as principais infraestruturas de transporte, efetuando uma previsão de cenários tendo em consideração as condicionantes e características locais. Este planeamento tem como objetivo fornecer contributos mais direcionados e eficazes para a gestão de uma emergência a nível local, sobretudo, se se tratar de substâncias capazes de formar nuvens tóxicas. No caso das matérias inflamáveis, a padronização nacional é de mais fácil obtenção, dado que, a influência das condições meteorológicas em cenários deste tipo é relativamente reduzida, sendo importante, no entanto, estabelecer quantidades padrão de combustível. Esta situação também não é um grande obstáculo já que a grande maioria dos contentores de transporte utilizados são padronizados segundo normas europeias ou internacionais.

Emerge, finalmente, a necessidade de um trabalho cooperativo na elaboração dos PPI, isto é, entre os municípios que possuem as infraestruturas de transporte, mas, também, os limítrofes, uma vez que os presentes resultados demonstraram que um acidente em Matosinhos, sob determinadas condições, poderá afetar um conjunto considerável de outros municípios.

5.7. Síntese do capítulo

O presente capítulo contemplou, de forma sustentada, a análise de fatores condicionantes na gestão operacional e de emergência num cenário com matérias perigosas realizada no capítulo anterior.

A modelação sistemática de cenários de acidentes permitiu reconhecer um conjunto de variáveis, essencialmente quanto à natureza da substância envolvida e ao carácter meteorológico, que em muito influenciam o desenvolvimento de um acidente com matérias perigosas e, consequentemente, a atuação e as operações de proteção civil. A par disso, foi possível entender quais as variáveis e as condições que proporcionam, potencialmente, cenários mais desfavoráveis, sendo o seu conhecimento antecipado de extrema importância para as entidades de proteção civil e proteção e socorro.

Foi possível, também, com recurso às modelações efetuadas, reconhecer que um acidente grave com matérias perigosas pode assumir proporções imensas sendo que, no caso em estudo, poderia inclusive afetar o município inteiro de Matosinhos ou outros densamente populosos, como é o caso do Porto ou de Vila Nova de Gaia. Complementarmente, identificaram-se também um conjunto de elementos potencialmente expostos de cariz estratégico ou sensível, o que torna ainda mais complexo o ato da gestão de uma emergência desta natureza.

Foram também identificadas um conjunto de circunstâncias nas instruções operacionais existentes que não se ajustam aos resultados obtidos e que, cautelosamente, devem ser revistas pelas entidades competentes. No entanto, atendendo à importância das variáveis e características locais, aos mais diversos níveis, ficou demonstrado que o planeamento da resposta e previsão de cenários de acidentes deve ser realizado a nível local para que a sua eficácia seja maximizada.

Por último, associado à identificação das variáveis potenciadoras de cenários mais gravosos, foi possível constatar que o esquema de transporte de substâncias desta natureza pode, e deverá, ser reconfigurado por forma a não ocorrerem em condições que podem majorar os efeitos nefastos em caso de acidente, atuando-se num quadro mais preventivo, reduzindo o risco.

Capítulo 6 – Síntese e Conclusões

O presente trabalho pretendeu estudar duas tipologias de acidente decorrentes do transporte de matérias perigosas na linha ferroviária de Leixões, com vista à avaliação das suas consequências diretas no local e sua circunvizinhança (danos imediatos), bem como das suas implicações para as ações de proteção civil a encetar, nomeadamente quanto à organização do socorro e à adequação do fixado pelo Manual de Intervenção em Emergências com Matérias Perigosas Químicas, Biológicas e Radiológicas da ANEPC (MIEMP). Os estudos foram suportados numa extensa pesquisa bibliográfica envolvendo aproximadamente 250 referências e em simulações computacionais e análise de resultados detalhadas.

Depois de se analisarem os cenários nacional, europeu e dos EUA, assim como os ensinamentos de acidentes com matérias perigosas no mundo e as estatísticas de transporte da linha ferroviária em estudo, procedeu-se a uma caracterização exaustiva das principais variáveis condicionantes do desenvolvimento de acidentes envolvendo dois tipos de matérias: metano (ONU 1972: Metano líquido refrigerado), com derrame seguido de incêndio em poça e posterior fenómeno de explosão (BLEVE), e diisocianato de tolueno (ONU 2078: Diisocianato de tolueno), este passível de, quando libertado, formar uma nuvem tóxica extensa. Os maiores destaques para as modelações efetuadas foram para a caracterização do local da ocorrência, pessoas, edificado e infraestruturas existentes e condições meteorológicas condicionadoras do desenvolvimento dos fenómenos subsequentes ao acidente. As modelações usaram a aplicação *Aloha*, desenvolvida pela *National Oceanic and Atmospheric Administration* e a *Environmental Protection Agency* dos EUA, seguindo-se-lhe estratégias de pós-processamento em SIG, para uma descrição e análise espacial dos fenómenos, e de *Areal Weighting* associados a dados do último *Census* da população, para determinar o número de pessoas afetadas em cada caso.

No estudo foram realizadas 120 simulações completas de modo a identificar a influência das variáveis e a identificar os cenários mais gravosos. A caracterização meteorológica foi feita para cada cenário com base em séries temporais de 2009 a 2019 da estação meteorológica do Aeroporto do Porto, com a construção e análise de rosas dos ventos especialmente construídas para o efeito.

Dos resultados alcançados destacam-se, para o caso do metano, poucas oscilações do nível de afetação com as variáveis meteorológicas introduzidas, no entanto, registaram-se incongruências significativas entre os resultados obtidos e as determinações do MIEMP da ANEPC quanto aos procedimentos operacionais previstos para a matéria em questão, questionando a validade das orientações do mesmo quanto à gestão de uma emergência desta natureza. Entre as principais diferenças, evidenciam-se resultados de simulações que apontam para zonas de afetação máximas com cerca de 800 metros de raio, ao passo que o MIEMP estabelece um raio de evacuação bem

superior, de 1600 metros, portanto excessivo e com grandes repercussões na escala das ações de proteção civil a desenvolver, principalmente no que respeita a ações logísticas para evacuação de populações. Os resultados alcançados são igualmente úteis para determinar a gravidade deste tipo de acidentes que, no pior cenário simulado, poderá afetar 12283 pessoas em caso de BLEVE, com 2738 mortos, a que se juntam danos potencialmente graves em edifícios e estruturas estratégicas ou sensíveis, como estabelecimentos escolares, centros de dia e lares de idosos, farmácias, estabelecimentos prisionais ou complexos desportivos.

Para o caso do diisocianato de tolueno, as consequências são ainda piores e não se limitam mesmo só ao município de Matosinhos. Podendo estender-se claramente aos concelhos limítrofes, fica o alerta quanto à necessidade de se ter esta situação em conta, por exemplo, nos respetivos planos de emergência de proteção civil. Só em Matosinhos, no pior cenário, poderá ser afetada toda a população de Matosinhos (cerca de 175000 pessoas), das quais, aproximadamente 50 mil poderão ser fatalidades e 60 mil sofrer efeitos irreversíveis para a saúde. Foi também possível verificar, pela análise dos resultados produzidos nas simulações, que as condições meteorológicas são altamente influenciadoras num acidente desta natureza e quais são as que proporcionam situações mais gravosas, isto é, condições de maior estabilidade atmosférica.

Com o estudo, ficou demonstrada a relação complexa entre o ordenamento do território e os riscos, tendo-se evidenciado a importância da análise detalhada de ambos. Também a dimensão dos danos potenciais e a dificuldade de o sistema de socorro poder funcionar com eficácia plena, havendo que notar que muitas das infraestruturas necessárias serão, elas próprias, bastante afetadas.

O conhecimento antecipado dos fenómenos estudados e das suas potenciais consequências beneficia assim a tomada de decisões, seja num quadro preventivo e de planeamento, seja, depois, em contexto de resposta à emergência e à posterior recuperação. O trabalho desenvolvido demonstrou que serão necessárias novas práticas no planeamento e resposta de emergência por parte das entidades de proteção civil, privilegiando o planeamento local ou supramunicipal, bem como a integração dos importantes contributos e colaboração das entidades privadas no ato da mitigação de riscos. Em face dos resultados alcançados, sente-se também a necessidade de atualizar a informação existente nas diretrizes operacionais existentes (MIEMP), bem como de lhe introduzir informação em falta, para aumentar a sua adequação face aos cenários de acidente considerados. Em complemento, devem ser também melhor esclarecidos os pressupostos utilizados nas modelações do MIEMP para reconhecer se as mesmas poderão, ou não, ser aplicáveis a territórios como os de Matosinhos e similares, com alterações constantes no que às condições meteorológicas diz respeito.

Num outro quadrante, pode concluir-se que o software Aloha, apesar das limitações que se indicaram, é uma ferramenta muito útil e de fácil utilização e que, num curto espaço de tempo, produz resultados que podem auxiliar na tomada de decisões durante a própria gestão da emergência. Registe-se também que, na realização do presente trabalho, se sentiram dificuldades na obtenção de dados de fontes oficiais, principalmente, dos de carácter meteorológico. Estas dificuldades devem também ser transpostas para os agentes de proteção civil que, numa situação real, devem estar centrados no ato da gestão de emergência e não na obtenção de dados para apoio operacional. Por isso, será legítimo recomendar que haja um entendimento e um reforço da parceria entre o IPMA, entidades como a ANA Aeroportos, que dispõem de estações meteorológicas nas suas infraestruturas, e os serviços municipais de proteção civil e ANEPC, para a disponibilização de dados necessários em tempo real, assim como, dos históricos para a criação de cenários mais reais e prováveis para a criação dos planos prévios de intervenção.

Em resumo, espera-se que a presente dissertação possa ser um contributo útil para o desenvolvimento futuro de melhores ações de prevenção, de planeamento e de resposta à emergência, no caso concreto do município de Matosinhos e limítrofes, mas também de outros, assim como elemento de reflexão para o progresso dos normativos aplicáveis ao tipo de acidentes considerados, determinados pela ANEPC.

Contudo, a dissertação não deverá ser entendida também senão um primeiro exercício para o entendimento da problemática do transporte de matérias perigosas na linha de Leixões e dos acidentes que nela podem decorrer. No trabalho, só foram abordados os acidentes na interface viária/ferroviária, mas existem outras situações igualmente importantes e críticas, tais como descarrilamentos, falhas mecânicas, danos na linha que potenciam descarrilamentos, atos terroristas, sabotagens, entre outros. Mesmo que associados a probabilidades muito baixas de ocorrência, estes outros acontecimentos, no caso de se concretizarem, terão igualmente impactos muito elevados, tanto no âmbito das pessoas, das infraestruturas essenciais à sociedade e dos próprios agentes de proteção civil, como, naturalmente, dos bens e do ambiente. Como se percebeu, um acidente na linha de Leixões com matérias perigosas pode provocar milhares de vítimas, afetar centenas de edifícios e inoperacionalizar corpos de bombeiros ou mesmo unidades de saúde, colocando em causa a proteção e socorro das populações.

Por outro lado, o presente trabalho não considerou fenómenos como os efeitos de sobrepressão nos edifícios e nas populações ou a projeção de fragmentos, assim como os potenciais danos ambientais decorrentes dos acidentes simulados, temas que podem constituir também outras frentes para desenvolvimentos futuros, com vista à compreensão mais profunda de tudo o

que está em causa neste tipo de acidentes e das medidas e ações de proteção civil a adotar quanto aos mesmos.

Referências bibliográficas

- Abbasi, T., Pasman, H. J., & Abbasi, S. A. (2010). A scheme for the classification of explosions in the chemical process industry. *Journal of Hazardous Materials*, 174(1), 270–280. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.09.047>
- Abrantes, M. (2021). *Relatório Síntese Estudo de Impacte Ambiental - PF31 - Intervenção de modernização para melhoramento da capacidade ferroviária: Corredor Internacional Norte*. Lisboa.
- Agência Portuguesa do Ambiente. (2020). Estabelecimentos abrangidos. Obtido 15 de Setembro de 2021, de Relação dos Estabelecimentos (Continente) abrangidos pelo regime de prevenção de acidentes graves website: <https://apambiente.pt/prevencao-e-gestao-de-riscos/estabelecimentos-abrangidos>
- Aggarwal, R. A. J., Cao, J., & Chen, F. (2012). Information Environment, Dividend Changes, and Signaling: Evidence from ADR Firms*. *Contemporary Accounting Research*, 29(2), 403–431. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1911-3846.2011.01101.x>
- Alarifi, A. A., Dave, J., Phylaktou, H. N., Aljumaiah, O. A., & Andrews, G. E. (2014). Effects of fire-fighting on a fully developed compartment fire: Temperatures and emissions. *Fire Safety Journal*, 68, 71–80. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2014.05.014>
- Alexander, D. (2002). From civil defence to civil protection – and back again. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, 11(3), 209–213. <https://doi.org/10.1108/09653560210435803>
- Alexander, D. (2015). Disaster and Emergency Planning for Preparedness, Response, and Recovery. *Oxford Research Encyclopedia of Natural Hazard Science*, (November), 1–20. <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780199389407.013.12>
- ANEPC. (2010). *Diretiva Operacional Nacional n.º 3 - NRBQ*. Carnaxide.
- ANEPC. (2011). *Manual de Intervenção em Emergências com matérias perigosas - Químicas, Biológicas e Radiológicas* (1ª edição; M. Cloutier, L. Costa, R. Trindade, N. Mondril, P. Pires, J. Cunha da Cruz, ... P. Gaspar, Eds.). Lisboa: ANEPC.
- Arcuri, A. S. (2005). Governing the risk of ultra-hazardous activities: Challenges for contemporary legal systems. *Erasmus Universiteit Rotterdam*.
- Assembleia da República. *Lei n.º 27/2006*. , (2006).
- Assembleia da República. *Decreto-Lei n.º 41-A/2010*. , (2010).
- Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil (ANEPC). (2016). *Manual de Intervenção em Emergências com Matérias Perigosas - Químicas, Biológicas e Radiológicas* (1ª Edição; Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil (ANEPC), Ed.). Carnaxide: ANEPC.
- Aven, T. (2013). On the meaning of a black swan in a risk context. *Safety Science*, 57, 44–51. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ssci.2013.01.016>
- Barberá, L. D., Carulla, A. V., Gomez, J. E., Ruiz, J. M. B., Gutiérrez, J. M. G., Cabreo, F. V., ... Pérez, J. B. (2012). *Guía Operativa -Intervención ante accidentes en el transporte de materias*

peligrosas en vehículos cisterna. Madrid.

- Barkan, C. P. L., Dick, C. T., & Anderson, R. (2001). *Hazardous Materials Transportation Risk MATERIALS RELEASE DATA AND ANALYSIS*. (03), 64–74.
- Barthelemy, F., Hornus, H., Roussot, J., Hufschmitt, J., & Raffoux, J. (2001). *Report of the general inspectorate for the Environment accident on the 21st of September 2001 at a factory belonging to the Grande Paroisse Company in Toulouse*. Paris.
- Basketter, D., Holland, G., & York, M. (sem data). Corrosive Materials. Em *Irritant Dermatitis* (pp. 239–247).
- Baverstock, K., & Williams, D. (2007). The Chernobyl Accident 20 Years On: An Assessment of the Health Consequences and the International Response. *Ciência & saúde coletiva*, 12, 689–698. <https://doi.org/10.1590/S1413-81232007000300019>
- Bennet, B., Repacholi, M., & Carr, Z. (2006). *Health Effects of the Chernobyl Accident and Special Health Care Programmes - Report of the UN Chernobyl Forum Expert Group «Health»*. Obtido de https://www.who.int/ionizing_radiation/chernobyl/who_chernobyl_report_2006.pdf
- Bertazzi, P. A., Bernucci, I., Brambilla, G., Consonni, D., & Pesatori, A. C. (1998). The Seveso studies on early and long-term effects of dioxin exposure: A review. *Environmental Health Perspectives*, 106(SUPPL. 2), 625–633. <https://doi.org/10.2307/3433813>
- Bertola, V. (2010). Editorial Thermodynamics and Heat Transfer in Fires. *The Open Thermodynamics Journal*, 4. <https://doi.org/10.2174/1874396X01004010144>
- Bierlein, L. W. (1987). *Red Book on Transportation of Hazardous Materials* (Second Edi). New York: Van nostrand reinhold Company.
- Binder, S. (1989). Deaths, injuries, and evacuations from acute hazardous materials releases. *American Journal of Public Health*, 79(8), 1042–1044. <https://doi.org/10.2105/ajph.79.8.1042>
- Birk, A. M., & Cunningham, M. H. (1994). The boiling liquid expanding vapour explosion. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 7(6), 474–480. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0950-4230\(94\)80005-7](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0950-4230(94)80005-7)
- Birk, A. M., & Cunningham, M. H. (1996). Liquid temperature stratification and its effect on BLEVEs and their hazards. *Journal of Hazardous Materials*, 48(1), 219–237. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0304-3894\(95\)00157-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0304-3894(95)00157-3)
- Birk, A. M., Eyssette, R., & Heymes, F. (2020). Analysis of BLEVE overpressure using spherical shock theory. *Process Safety and Environmental Protection*, 134, 108–120. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.11.023>
- Bjerketvedt, D., Bakke, J. R., & van Wingerden, K. (1997). Gas explosion handbook. *Journal of Hazardous Materials*, 52(1), 1–150. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0304-3894\(97\)81620-2](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0304-3894(97)81620-2)
- Bluett, J., Heydenrych, C., Fisher, G., Freeman, T., & Godfrey, J. (2004). *Good Practice Guide: Atmospheric dispersion modelling*. Obtido de <http://tools.envirolink.govt.nz/assets/Uploads/Good-Practice-Guide-MFE-atmospheric-dispersion-modelling-jun04.pdf>

- BMIIB. (2006). *Initial Report to the Health and Safety Commission and the Environment Agency of the investigation into the explosions and fires at the Buncefield oil storage and transfer depot*. London.
- BMIIB. (2008a). *Recommendations on land use planning and the control of societal risk around major hazard sites*. London.
- BMIIB. (2008b). *The Buncefield Incident 11 December 2005, The final report of the Major Incident Investigation Board*. London.
- BMIIB. (2008c). *The Buncefield Incident 11 December 2005, The final report of the Major Incident Investigation Board*. London.
- Britannica, T. (2021). Texas City Explosion of 1947. Em *Encyclopedia Britannica*. Encyclopedia Britannica.
- Britter, R. E. (1989). Atmospheric dispersion of dense gas. Em *Annual Review of Fluid Mechanics* (pp. 317–344).
- Broughton, E. (2005). The Bhopal disaster and its aftermath: a review. *Environmental Health*, 4(1), 6. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-4-6>
- Bubbico, R., Ferrari, C., & Mazzarotta, B. (2000). Risk analysis of LPG transport by road and rail. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 13(1), 27–31. [https://doi.org/10.1016/S0950-4230\(99\)00057-1](https://doi.org/10.1016/S0950-4230(99)00057-1)
- Buettner, K. (1951). Effects of extreme heat and cold on human skin. *Journal of Applied Physiology*, 3, 691–702. <https://doi.org/10.5694/j.1326-5377.1946.tb34690.x>
- Bullock, J., Haddow, G., & Coppola, D. P. (2020). The Disciplines of Emergency Management: Mitigation. Em *Introduction to Emergency Management* (7th editio, pp. 88–92). Woburn, United States: Elsevier - Health Sciences Division.
- Bureau of Transportation Statistics. (2020). U.S. Oil and Gas Pipeline Mileage.
- Buribayeva, G., Miyachi, T., Yeshmukhametov, A., & Mikami, Y. (2015). An autonomous emergency warning system based on cloud servers and SNS. *Procedia Computer Science*, 60(1), 722–729. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.08.225>
- Button, K. (2010). *Transport Economics* (3rd ed). Cheltenham, UK: Edward Elgar Publishing Limited.
- Cahen, B. (2006). Implementation of new legislative measures on industrial risks prevention and control in urban areas. *Journal of Hazardous Materials*, 130(3), 293–299. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.07.029>
- Cameo Chemicals. (2021a). UN/NA 1972.
- Cameo Chemicals. (2021b). UN/NA 2078.
- Cameron, I. T., & Raman, R. (2005a). Analysing the Consequences of Incidents. Em *Process Systems - Risk Management* (1st Ed, pp. 171–193). San Diego: Elsevier.
- Cameron, I. T., & Raman, R. (2005b). Effect Models for Consequence Analysis. Em *Process Systems*

- *Risk Management* (1st ed, pp. 195–259). San Diego: Elsevier.
- Cardis, E., Kesminiene, A., Ivanov, V., Malakhova, I., Shibata, Y., Khrouch, V., ... Williams, D. (2005). Risk of Thyroid Cancer After Exposure to ¹³¹I in Childhood. *Journal of the National Cancer Institute*, 97, 724–732. <https://doi.org/10.1093/jnci/dji129>
- Carol, S., Vilchez, J. A., & Casal, J. (2002). Study of the severity of industrial accidents with hazardous substances by historical analysis. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 15(6), 517–524. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0950-4230\(02\)00034-7](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0950-4230(02)00034-7)
- Carvalho, M. M., Lira, V. S., Watanabe, C. H., & Fracácio, R. (2017). Estudo da toxicidade de metais (Zinco e cádmio) sobre *Ceriodaphnia Dubia*, por multivias de exposição e recuperação biológica de descendentes. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 22(5), 961–968. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522017158722>
- Casal, J. (2017a). Atmospheric dispersion of toxic or flammable clouds. Em *Evaluation of the effects and consequences of major accidents in industrial plants* (2nd editio, pp. 269–329). Elsevier.
- Casal, J. (2017b). Vapor Cloud Explosions. Em *Evaluation of the effects and consequences of major accidents in industrial plants* (2nd editio, pp. 151–181). Elsevier.
- Casal, J., Arnaldos, J., Montiel, H., Planas-Cuchi, E., & Vilchez, J. A. (2001). MODELING AND UNDERSTANDING BLEVES. Em M. Fingas (Ed.), *Handbook of Hazardous Materials Spills Technology* (pp. 22.1-22.27). Obtido de [http://aevnmont.free.fr/SACH-BOOKS/Petrochemistry/Handbook of Hazardous Materials Spills Technology/Part V. Spill Modeling/22. Modeling and Understanding BLEVES.pdf](http://aevnmont.free.fr/SACH-BOOKS/Petrochemistry/Handbook%20of%20Hazardous%20Materials%20Spills%20Technology/Part%20V.%20Spill%20Modeling/22.%20Modeling%20and%20Understanding%20BLEVES.pdf)
- CCOHS. (2008). Corrosive Materials - Hazards.
- CCPS. (2010). *Guidelines for Vapor Cloud Explosion, Pressure Vessel Burst, BLEVE, and Flash Fire Hazards* (2nd editio).
- CDCP. (2021). Contamination vs exposure. Obtido 14 de Março de 2021, de Radiation Emergencies & Your Health website: <https://www.cdc.gov/nceh/radiation/emergencies/contamination.htm>
- Center for Chemical Process Safety. (1994). Appendix C: Effects of Explosions on Humans. Em *Wiley Online Books. Guidelines for Evaluating the Characteristics of Vapor Cloud Explosions, Flash Fires, and BLEVES* (pp. 351–357). <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/9780470938157.app3>
- Chakrabarti, U. K., & Parikh, J. K. (2012). Applying HAZAN methodology to hazmat transportation risk assessment. *Process Safety and Environmental Protection*, 90(5), 368–375. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2012.05.011>
- Chakraborty, J., & Armstrong, M. P. (1995). Using Geographic Plume Analysis to assess community vulnerability to hazardous accidents. *Computers, Environment and Urban Systems*, 19(5), 341–356. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0198-9715\(95\)00018-6](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0198-9715(95)00018-6)
- Comissão Europeia. (2021). Parte 1 - Disposições Gerais. Em *Acordo Europeu Relativo ao Transporte Internacional de Mercadorias Perigosas por Estrada* (Edição 201, p. 21). Obtido de <http://www.imt-ip.pt/sites/IMTT/Portugues/TransportesRodoviaros/TransporteMercadoriasPerigosas/Paginas>

/AcordoADRRPE.aspx

- Cox, R. A. (1980). Methods for predicting the atmospheric dispersion of massive releases of flammable vapour. *Progress in Energy and Combustion Science*, 6(2), 141–149. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0360-1285\(80\)90003-9](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0360-1285(80)90003-9)
- Cozzani, V., Bandini, R., Basta, C., & Christou, M. (2006). Application of Land use Planning Criteria for the Control of Major Accident Hazards. *Journal of hazardous materials*, 136, 170–180. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.12.031>
- Cozzani, V., Bonvicini, S., Spadoni, G., & Zanelli, S. (2007). Hazmat transport: A methodological framework for the risk analysis of marshalling yards. *Journal of Hazardous Materials*, 147(1–2), 412–423. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.01.065>
- Cozzani, V., Gubinelli, G., & Salzano, E. (2006). Escalation thresholds in the assessment of domino accidental events. *Journal of Hazardous Materials*, 129(1–3), 1–21. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.08.012>
- Cozzani, V., Tugnoli, A., & Salzano, E. (2007). Prevention of domino effect: From active and passive strategies to inherently safer design. *Journal of Hazardous Materials*, 139(2), 209–219. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.06.041>
- Crocker, W. P., & Napier, D. H. (1986). Thermal radiation hazards of liquid pool fires and tank fires. *I. Chem. E. Symposium Series NO. 97*, 97–159. I.CHEM.E.
- Crollius, A. R., & Langeveld, M. (2007). *Regulation on the Transport of Dangerous Goods along the TRACECA Corridor*. DZ Rijswijk.
- Damstra, T. (2002). Potential Effects of Certain Persistent Organic Pollutants and Endocrine Disrupting Chemicals on the Health of Children. *Journal of toxicology. Clinical toxicology*, 40, 457–465. <https://doi.org/10.1081/CLT-120006748>
- De Marchi, B. (1991). Public information about major accident hazards: Legal requirements and practical implementation. *Organization & Environment*, 5(4), 239–251. <https://doi.org/10.1177/108602669100500401>
- Dechy, N., Bourdeaux, T., Ayrault, N., Kordek, M.-A., & Le Coze, J.-C. (2004). First lessons of the Toulouse ammonium nitrate disaster, 21st September 2001, AZF plant, France. *Journal of Hazardous Materials*, 111(1), 131–138. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2004.02.039>
- Department for Communities & Local Government. (2012). *Fire and Rescue Service - Operational guidance incidents involving hazardous materials* (N. ID2511951 C5 11/12). <https://doi.org/9780117541092>
- Ditta, A., Figueroa, O., Galindo, G., & Yie-Pinedo, R. (2019). A review on research in transportation of hazardous materials. *Socio-Economic Planning Sciences*, 68. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2018.11.002>
- Duh, Y.-S., Hui wu, X., & Kao, C.-S. (2008). Hazard ratings for organic peroxides. *Process Safety Progress*, 27(2), 89–99. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/prs.10250>
- EEA. (2003). *Europe's environment: the third assessment*. Copenhagen.

- Ellis, J. (2002). *Risks in dangerous goods transport an analysis of risk in road, rail and marine transport*. Gothenburg, Sweden.
- Ellis, Joanne. (2011). Analysis of accidents and incidents occurring during transport of packaged dangerous goods by sea. *Safety Science*, 49(8), 1231–1237. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ssci.2011.04.004>
- ENB. (2014a). *Classificação das matérias perigosas* (N. Unidade M610U3). Sintra.
- ENB. (2014b). *Intervenção em Acidentes com Matérias Perigosas* (N. 9893-S4 (2)). Sintra.
- EPA. (2021). Radiation Health Effects.
- EPA, & NOAA. (2007). *Aloha - User's Manual*.
- Ericson, S. J. (2000). The Industrial Revolution in the Twentieth Century, with a Focus on Japan and the East Asian Followers. *OAH Magazine of History*, 15(1), 24–29. Obtido de <http://www.jstor.org/stable/25163397>
- Eskenazi, B., Warner, M., Brambilla, P., Signorini, S., Ames, J., & Mocarelli, P. (2018). The Seveso accident: A look at 40 years of health research and beyond. *Environment International*, 121, 71–84. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.08.051>
- European Commission. (2019). The Seveso Directive - Technological Disaster Risk Reduction. Obtido 11 de Março de 2019, de Major accident hazards website: <https://ec.europa.eu/environment/seveso/>
- European Union Agency for Railways. (2020). *Report on Railway Safety and Interoperability in the EU*. <https://doi.org/10.2821/30980>
- Eurostat. (2020). *Transport of dangerous goods*. Luxembourg.
- Fabiano, B., Currò, F., Palazzi, E., & Pastorino, R. (2005). A framework for risk assessment and decision-making strategies in dangerous good transportation. *Journal of Hazardous Materials*, 93(1), 1–15. [https://doi.org/10.1016/S0304-3894\(02\)00034-1](https://doi.org/10.1016/S0304-3894(02)00034-1)
- FEMA. (2021). History of FEMA. Obtido 25 de Maio de 2021, de History of FEMA website: <https://www.fema.gov/about/history>
- FEMA, EPA, & DT. (1988). *Handbook of Chemical Hazard Analysis Procedures*. Washington D.C.: Federal Emergency Management Agency Publications Office.
- Fernandez, M. I. (2013). *Modelling spreading, vaporisation and dissolution of multi-component pools*. University College London.
- Ferreira, V. (2013). *O Setor dos Transportes de Mercadorias em Portugal: A intermodalidade enquanto fator dinamizador das empresas exportadoras*. Faculdade de Economia do Porto.
- Fisher, H. G., & Goetz, D. D. (1993). Determination of self-accelerating decomposition temperatures for self-reactive substances. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 6(3), 183–194. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0950-4230\(93\)85008-9](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0950-4230(93)85008-9)
- Fox, M. A. (1999). Dangerous when wet materials and Division 4.3. Em *Glossary for the worldwide transportation of dangerous goods and hazardous materials* (1st editio, p. 58). United States

- of America: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Funtowicz, S., De Marchi, B., & Ravetz, J. (2000). O acidente industrial ampliado de Seveso: paradigma e paradoxo. Em C. M. Freitas, M. F. . S. Porto, & J. M. H. Machado (Eds.), *Acidentes industriais ampliados: desafios e perspectivas para o controle e a prevenção* (1st edi, pp. 128–148). <https://doi.org/10.747/9788575415085>.
- Gai, W. mei, Deng, Y. feng, Jiang, Z. an, Li, J., & Du, Y. (2017). Multi-objective evacuation routing optimization for toxic cloud releases. *Reliability Engineering and System Safety*, 159, 58–68. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2016.10.021>
- Gai, W. mei, Du, Y., & Deng, Y. feng. (2018). Regional evacuation modeling for toxic-cloud releases and its application in strategy assessment of evacuation warning. *Safety Science*, 109(January 2017), 256–269. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.06.007>
- Galierikova, A., & Sosedova, J. (2018). Intermodal transportation of dangerous goods. *Nase More*, 65(3), 8–11. <https://doi.org/10.17818/NM/2018/3.8>
- Genova, B., Silvestrini, M., & Leon Trujillo, F. J. (2008). Evaluation of the blast-wave overpressure and fragments initial velocity for a BLEVE event via empirical correlations derived by a simplified model of released energy. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 21(1), 110–117. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jlp.2007.11.004>
- Gitelman, V., & Hakkert, A. S. (1997). The evaluation of road-rail crossing safety with limited accident statistics. *Accident Analysis and Prevention*, 29(2), 171–179. [https://doi.org/10.1016/S0001-4575\(96\)00069-3](https://doi.org/10.1016/S0001-4575(96)00069-3)
- Gobbato, T. A. (1993). *Princípios de toxicologia* (N. 36). Rio de Janeiro.
- Guedes, C., Jacinto, M., Palos, Â., & Araújo, P. (2009). *Riscos industriais e emergentes* (1st ed). Lisboa: Edições Salamandra, Lda.
- Gunn, A. M. (2008). *Encyclopedia of Disasters: Environmental Catastrophes and Human Tragedies*. Westport: Greenwood Press.
- Haines, C., Morris, L., Luan, Z., & Doorenbos, Z. (2017). Pyrophoric Materials. Em M. K. Shukla, V. M. Boddu, J. A. Steevens, R. Damavarapu, & J. Leszczynski (Eds.), *Energetic Materials* (1st editio, pp. 135–170). Columbia: Springer International Publishing.
- Hála, E., Pick, J., Fried, V., & Vilím, O. (1967). Vapour Pressure and Boiling Point. Em *Vapour - Liquid Equilibrium* (2nd editio, pp. 237–251). Oxford: Pegamon Press.
- Hall, A. H., Jacquemin, D., Henny, D., Mathieu, L., Josset, P., & Meyer, B. (2019). Corrosive substances ingestion: a review. *Critical Reviews in Toxicology*, 49(8), 637–669. <https://doi.org/10.1080/10408444.2019.1707773>
- Hansler, R., Gooijer, L., & Wolting, B. (2013). Acute Inhalation Toxicity in Quantitative Risk Assessment - Methods and Procedures. Em *Chemical Engineering Transactions* (Vol. 31). <https://doi.org/10.3303/CET1331126>
- Hay, A. (1982). *The Chemical Scythe - Lessons od 2, 4, 5-T and Dioxin* (1st ed). <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-1-4899-0339-6>

- Heus, R., & Denhartog, E. A. (2017). Maximum allowable exposure to different heat radiation levels in three types of heat protective clothing. *Industrial Health*, 55(6), 529–536. <https://doi.org/10.2486/indhealth.2017-0137>
- HM Government. (2008). Fire Service Operation. Em *Fire and Rescue Manual* (3rd ed). London: The Stationery Office.
- HMSO. (1975). *Report of the Court of Inquiry, The Flixborough Disaster*. London.
- Høiset, S., Hjertager, B., Solberg, T., & Malo, K. (2000). Flixborough revisited - An explosion simulation approach. *Journal of hazardous materials*, 77, 1–9. [https://doi.org/10.1016/S0304-3894\(00\)00197-7](https://doi.org/10.1016/S0304-3894(00)00197-7)
- Hopkins, A. (2005). *Safety, Culture and Risk The Organisational Causes of Disasters* (1st Ed.). Sidney: McPherson's Printing Group CC.
- Hoyle, B. S. (1973). Transport Development. Em *MacMillan Education* (1st ed). <https://doi.org/10.1007/978-1-349-15506-4>
- HSE. (2009). *Safety and environmental standards for fuel storage sites Process Safety Leadership Group*. <https://doi.org/9780717663866>.
- Hu, L. (2017). A review of physics and correlations of pool fire behaviour in wind and future challenges. *Fire Safety Journal*, 91, 41–55. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2017.05.008>
- IAEA. (2006). *Environmental consequences of the Chernobyl accident and their remediation: twenty years of experience*. Vienna.
- ICF Consulting. (2000). *Risk management framework for hazardous materials*. Washington.
- INE. (2011). *Base Geográfica de Referência de Informação (BGRI)*. Lisboa: Instituto Nacional de Estatística.
- Infraestruturas de Portugal. (2019). *Diretório da Rede 2020*. Lisboa.
- Instituto Nacional de Estatística. (2011a). Censos - Informação estatística.
- Instituto Nacional de Estatística. (2011b). *Census 2011*. Lisboa.
- Instituto Nacional de Estatística. (2020). *ESTATÍSTICAS DOS TRANSPORTES E COMUNICAÇÕES (2019)*. Lisboa.
- Instituto Nacional de Estatística. (2021). Censos 2021.
- Intini, P., Ronchi, E., Gwynne, S., & Bénichou, N. (2019). Guidance on Design and Construction of the Built Environment Against Wildland Urban Interface Fire Hazard: A Review. *Fire Technology*. <https://doi.org/10.1007/s10694-019-00902-z>
- Ivings, M. J., Lea, C. J., Webber, D. M., Jagger, S. F., & Coldrick, S. (2013). A protocol for the evaluation of LNG vapour dispersion models. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 26(1), 153–163. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jlp.2012.10.005>
- Jaffin, R. D. (2020). Chapter 31 - An All-Hazards Approach to Hazardous Materials. Em S. J. Davies & L. J. B. T.-T. P. P. O. (Second E. Fennelly (Eds.), *The Professional Protection Officer* (2nd editio, pp. 349–357). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817748-8.00031-6>

- Janès, A., Marlair, G., Carson, D., & Chaineaux, J. (2012). Towards the improvement of UN N.5 test method for the characterization of substances which in contact with water emit flammable gases. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 25(3), 524–534. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jlp.2011.12.008>
- Joulain, P. (1998). The behavior of pool fires: State of the art and new insights. *Symposium (International) on Combustion*, 27(2), 2691–2706. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0082-0784\(98\)80125-2](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0082-0784(98)80125-2)
- Julião, R. P., Nery, F., Ribeiro, J. L., Castelo Branco, M., & Zêzere, J. L. (2009). Guia metodológico para a produção de cartografia municipal de risco e para a criação de sistemas de informação geográfica (SIG) de base municipal. Em Autoridade Nacional de Proteção Civil, Direção Geral do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano, & Instituto Geográfico Português (Eds.), *Autoridade Nacional de ...* <https://doi.org/298930/09>
- Kanj, H. (2016). *Contribution to risk analysis related to the transport of hazardous materials by agent-based simulation*. Université Grenoble Alpes.
- Kennedy, R., & Kirwan, B. (1998). Development of a Hazard and Operability-based method for identifying safety management vulnerabilities in high risk systems. *Safety Science*, 30(1), 249–274.
- Kervella, O. (2015). *ADR - European Agreement concerning the international carriage of dangerous goods by road (1957)*. Geneva.
- Khan, F. I., & Abbasi, S. A. (1999). Major accidents in process industries and an analysis of causes and consequences. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 12(5), 361–378. [https://doi.org/10.1016/S0950-4230\(98\)00062-X](https://doi.org/10.1016/S0950-4230(98)00062-X)
- Khankeh, H. R., Hosseini, S. H., Farrokhi, M., Hosseini, M. A., & Amanat, N. (2019). Early warning system models and components in emergency and disaster: A systematic literature review protocol. *Systematic Reviews*, 8(1), 8–11. <https://doi.org/10.1186/s13643-019-1211-5>
- Khanmohamadi, M., Bagheri, M., Khademi, N., & Ghannadpour, S. F. (2018). A security vulnerability analysis model for dangerous goods transportation by rail – Case study: Chlorine transportation in Texas-Illinois. *Safety Science*, 110, 230–241. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.04.026>
- Kim, B. Y., & Cha, J. W. (2020). Cloud observation and cloud cover calculation at nighttime using the Automatic Cloud Observation System (ACOS) Package. *Remote Sensing*, 12(14). <https://doi.org/10.3390/rs12142314>
- Kirchsteiger, C. (1997). Impact of accident precursors on risk estimates from accident databases. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 10(3), 159–167. [https://doi.org/10.1016/S0950-4230\(96\)00047-2](https://doi.org/10.1016/S0950-4230(96)00047-2)
- Kongboonma, S. (1991). *The Transportation of hazardous materials*. Rochester Institute of Technology.
- Koseki, H. (2000). Large Scale Pool Fires : Results Of Recent Experiments. *Fire Safety Science*, 6, 115–132. <https://doi.org/10.3801/IAFSS.FSS.6-115>

- Laboureur, D., Birk, A. M., Buchlin, J. M., Rambaud, P., Aprin, L., Heymes, F., & Osmont, A. (2015). A closer look at BLEVE overpressure. *Process Safety and Environmental Protection*, 95, 159–171. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2015.03.004>
- Lagadec, P. (1997). Learning Processes for Crisis Management in Complex Organizations. *Journal of Contingencies and Crisis Management*, 5(1), 24–31. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/1468-5973.00034>
- Landucci, G., Tugnoli, A., Busini, V., Derudi, M., Rota, R., & Cozzani, V. (2011). The Viareggio LPG accident: Lessons learnt. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 24(4), 466–476. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jlp.2011.04.001>
- Lees, F. (1996). *Loss prevention in the process industries* (2nd Ed.). Boston, Massachusetts: Butterworth-Heinemann.
- Lees, Frank. (2001). *Loss Prevention in the Process Industries* (Vol. 2). New Delhi: Butterworth-Heinemann.
- Lees, Frank. (2012). *Lees' Loss Prevention in the Process Industries* (4th ed). New York: Elsevier.
- Li, S., Cheng, C., Pu, G., & Chen, B. (2019). Qra-Grid: Quantitative risk analysis and grid-based pre-warning model for urban natural gas pipeline. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(3), 1–14. <https://doi.org/10.3390/ijgi8030122>
- Li, X., Liu, Z., Li, M., Li, P., Zhao, Y., & Wan, S. (2020). Experiments on burst pressure and fragment dispersion effects of small-sized pressure vessel BLEVE. *Fuel*, 277(January), 118145. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118145>
- Lindberg, A.-K., Hansson, S. O., & Rollenhagen, C. (2010). Learning from accidents – What more do we need to know? *Safety Science*, 48(6), 714–721. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ssci.2010.02.004>
- Lindell, Michael K, Prater, C. S., & Perry, R. W. (2006). *Fundamentals of Emergency Management*.
- Lindell, Micheal K., Perry, R., Prater, C., & Nicholson, W. (2006). *Fundamentals of Emergency Management* (First edit). Obtido de <http://training.fema.gov/EMIWeb/edu/fem.asp>
- Lisi, R., Consolo, G., Maschio, G., & Milazzo, M. F. (2015). Estimation of the impact probability in domino effects due to the projection of fragments. *Process Safety and Environmental Protection*, 93(May), 99–110. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2014.05.003>
- Liu, C., Huang, L., Deng, T., Jiang, H., Wu, P., Liu, B., ... Luo, Z. (2021). Influence of bottom wall on characteristics of jet diffusion flames under cross-wind. *Fuel*, 288(September 2020), 119661. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.119661>
- Liu, J., Li, J., & Fan, C. (2020). A bibliometric study of pool fire related publications. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 63(December 2019), 104030. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2019.104030>
- Lu, H., Delichatsios, M. A., Li, X., Liu, S., Lv, J., & Hu, L. (2020). Flame geometry of downward buoyant turbulent jet fires under cross flows: Experiments, dimensional analysis and an integral model. *Proceedings of the Combustion Institute*, 000, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.proci.2020.06.227>

- Lucius, J. E., Olhoeft, G. R., Hill, P. L., & Duke, S. K. (1992). Properties and Hazards of 108 Selected Substances. *Open-File Report*, p. 554. <https://doi.org/10.3133/ofr92527>
- Luketa-Hanlin, A. (2006). A review of large-scale LNG spills: experiments and modeling. *Journal of Hazardous Materials*, 132(2–3), 119–140. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.10.008>
- Lun, Y. H. V., Lai, K., & Cheng, T. C. E. (2011). Investigation of the influences of ‘transport complex economy’ and political risk on freight transport growth. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 14(5), 285–296. <https://doi.org/10.1080/13675567.2011.635641>
- Manca, D. (2014). New insights into the Viareggio railway accident. *Chemical Engineering Transactions*, 36, 13–18. <https://doi.org/10.3303/CET1436003>
- Manca, D., Brambilla, S., & Totaro, R. (2010). A Quantitative Assessment of the Viareggio Railway Accident. Em S. Pierucci & G. B. B. T.-C. A. C. E. Ferraris (Eds.), *20 European Symposium on Computer Aided Process Engineering* (Vol. 28, pp. 187–192). [https://doi.org/10.1016/S1570-7946\(10\)28032-X](https://doi.org/10.1016/S1570-7946(10)28032-X)
- Mannan, S. (2005). Hazard identification, assessment and control. Em *Lee’s Loss Prevention in the Process Industries* (3rd ed). Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann.
- Margai, F. L. (2001). Health Risks and Environmental Inequity: A Geographical Analysis of Accidental Releases of Hazardous Materials. *The Professional Geographer*, 53(3), 422–434. <https://doi.org/10.1080/00330124.2001.9628473>
- Marková, I., Lauko, J., Osvaldová, L. M., Mózer, V., Svetlík, J., Monoši, M., & Orinčák, M. (2020). Fire size of gasoline pool fires. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(2), 9–11. <https://doi.org/10.3390/ijerph17020411>
- Marshall, V. C. (1987). *Major Chemical Hazards* (1st Ed.). Chichester: Ellis Horwood.
- Matuszko, D. (2012). Influence of the extent and genera of cloud cover on solar radiation intensity. *International Journal of Climatology*, 32(15), 2403–2414. <https://doi.org/10.1002/joc.2432>
- Medway. (2021). Rgs 32 94 356 0 001/100. Obtido 16 de Outubro de 2021, de Vagões website: <https://www.medway-iberia.com/pt/pages/vagoes>
- Mertz, W. (1993). Risk assessment of essential elements. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 19 Suppl 1, 112.
- MIDSIS-TROCS. (2021). DIISOCYANATE DE TOLUENE. Obtido 17 de Outubro de 2021, de Rechercher un produit chimique website: <https://midsis.rempec.org/en/find-chemical/toluene-diisocyanate>
- Ministère de l’Écologie, du D. D., & Ministère des Transports, de l’Équipement, du T. et de la M. (2005). *Plan de Prévention des Risques Technologiques - Guide Méthodologique*. Paris.
- Mishra, K. B. (2016). Multiple BLEVE’s and fireballs of gas bottles: Case of a Russian road carrier accident. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 41, 60–67. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2016.03.003>
- Moreno, J. O., & Tutrone, J. D. (2010). Hazardous materials transportation. *A Dictionary of Transport Analysis*, (1), 185–187.

- <https://doi.org/10.1002/0471238961.2018011408150606.a01.pub3>
- Moreno, J. O., & Tutrone, J. D. (2018). Hazardous Materials Transportation. Em *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology* (pp. 1–29). <https://doi.org/10.1002/0471238961.2018011408150606.a01.pub3>
- Mulligan, M., & Reaney, S. (1993). On Modelling and Integration of Models II : Adaptation of Existing Models. *Annales Geophysicae*.
- Muneenam, U. (2006). *Hazardous Waste Management and the Public: A Case Study of Public Participation in Phrak Daeng, Ra Yong Province, Thailand* (Griffith University). <https://doi.org/https://doi.org/10.25904/1912/1663>
- National Research Council. (1989). *Recommended Dietary Allowances* (10th Ed.). <https://doi.org/10.17226/1349>
- NFPA. (2018). *NFPA 495: Explosive Materials Code* (2018 editi; A. Ing, D. Matthews, & L. D. Santis, Eds.). Quincy: NFPA.
- NFPA. (2021). *NFPA 30 - Flammable and Combustible Liquids Code* (2021 editi; S. Liaison & M. Marando, Eds.). Quincy: National Fire Protection Association.
- Ni, Y., Sattari, F., Lefsrud, L., & Tufail, M. (2020). A rising tide raises all boats: Regional promotion of process safety through joint government/industry management. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 68(September), 104331. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2020.104331>
- NOAA. (2016). Levels of Concern. Obtido 20 de Abril de 2020, de Levels of Concern website: <https://response.restoration.noaa.gov/oil-and-chemical-spills/chemical-spills/resources/levels-concern.html>
- Oggero, A., Darbra, R. M., Muñoz, M., Planas, E., & Casal, J. (2006). A survey of accidents occurring during the transport of hazardous substances by road and rail. *Journal of Hazardous Materials*, 133(1–3), 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.05.053>
- ONU. (2019a). Part 2. Classification. Em *Recommendations on the transport of dangerous goods - Model Regulations: Vol. Volume I* (Twenty-fir, pp. 49–181). New York: United Nations.
- ONU. (2019b). *Transport of Dangerous Goods* (21st revis). New York e Geneva: United Nations.
- OPAS. (1998). *Accidentes Químicos: Aspectos relativos a la salud - Guia para la preparación y respuesta* (1st ed.). Washington: OPAS/OMS.
- Opschoor, G. (1980). The spreading and evaporation of LNG- and burning LNG-spills on water. *Journal of Hazardous Materials*, 3(3), 249–266. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0304-3894\(80\)85004-7](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0304-3894(80)85004-7)
- OSHA. (2021). Definition of a Hazardous Substance. Obtido 7 de Março de 2021, de Standard Interpretations website: <https://www.osha.gov/laws-regs/standardinterpretations/1996-11-07>
- Papadakis, G. A. (1999). Major hazard pipelines: a comparative study of onshore transmission accidents. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 12(1), 91–107. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0950-4230\(98\)00048-5](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0950-4230(98)00048-5)
- Park, S., Kim, Y., Ferrier, N. J., Collis, S. M., Sankaran, R., & Beckman, P. H. (2021). Article

- prediction of solar irradiance and photovoltaic solar energy product based on cloud coverage estimation using machine learning methods. *Atmosphere*, 12(3). <https://doi.org/10.3390/atmos12030395>
- Parlamento Europeu, & Conselho Europeu. *Diretiva 2012/18/UE*. , (2012).
- Pasquill, F. (1961). The estimation of the dispersion of wind-borne material. *Meteorology Magazine*, 90, 33–59.
- Patnaik, P. (2006). *A comprehensive guide to the hazardous properties of chemical substances* (3rd editio). <https://doi.org/10.1002/9780470134955>
- Perko, T. (2014). Radiation risk perception: A discrepancy between the experts and the general population. *Journal of Environmental Radioactivity*, 133, 86–91. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2013.04.005>
- Perrow, C. (1999). *Normal Accidents: Living with High-Risk Technologies* (Revised ed). Princeton: Princeton University Press.
- Phoon, L. Y., Mustaffa, A. A., Hashim, H., & Mat, R. (2014). A Review of Flash Point Prediction Models for Flammable Liquid Mixtures. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 53(32), 12553–12565. <https://doi.org/10.1021/ie501233g>
- Pinho, P., Borrego, C., Coelho, C., Fernandes, I., Matos, M., Pereira, F., ... Sousa, A. (1987). *Environmental, social and risk assessment of a pipeline linking Aveiro harbour to Estarreja industrial estate in the Aveiro district, transporting petroleum derived chemicals* (1st editio; U. de A. Departamento de Ambiente e Ordenamento, Ed.). Aveiro.
- PORDATA. (2019). O seu município em números - Matosinhos.
- Poyarkov, V. (2004). *Chemical Accident Management* (N. Module BI-4/B). Brussels.
- Queirós, M. (2009). Riscos e Ordenamento do Território: Prometeus ou Conhecimento e Partilha. *Revista do Conselho Nacional de Planeamento de Emergência, Lisboa*, 21, 20–28.
- Quintiere, J. G. (2007). *Principles of Fire Behavior* (2nd editio). Boca Raton: CRC Press.
- Quintiere, J. G., & Grove, B. S. (1998). A unified analysis for fire plumes. *Symposium (International) on Combustion*, 27(2), 2757–2766. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0082-0784\(98\)80132-X](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0082-0784(98)80132-X)
- Raj, P. K. (2005). Large LNG fire thermal radiation—modeling issues and hazard criteria revisited. *Process Safety Progress*, 24(3), 192–202. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/prs.10082>
- Ramírez, Á., García-Torrent, J., & Tascón, A. (2010). Experimental determination of self-heating and self-ignition risks associated with the dusts of agricultural materials commonly stored in silos. *Journal of Hazardous Materials*, 175(1), 920–927. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.10.096>
- Rappaport, S. M. (1991). ASSESSMENT OF LONG-TERM EXPOSURES TO TOXIC SUBSTANCES IN AIR. *The Annals of Occupational Hygiene*, 35(1), 61–122. <https://doi.org/10.1093/annhyg/35.1.61>
- Reis, C., Correia, J., Oliveira, C., & Tomaz, N. (2019). Accidents on railway lines in Portugal.

- Procedia Structural Integrity*, 22(2019), 189–193. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2020.01.052>
- Reis, J., Ribeiro, C., Rodrigues, D., & Rodrigues, A. (2020). Accident Scenarios Modelling with Hazardous Materials in Transportation Infrastructures. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Forensic Engineering*, 1–12. <https://doi.org/10.1680/jfoen.20.00015>
- Renn, O. (1989). Risk Communication at the Community Level: European Lessons from the Sseveso Directive. *Journal of the Air Pollution Control Association*, 39(10), 1301–1308. <https://doi.org/10.1080/08940630.1989.10466622>
- Rey-Bellet, T. (2015). *Carriage of Dangerous Goods by road in compliance with the European Agreement concerning the international carriage of dangerous goods by road (ADR)*. Kabul: International Road Transport Union.
- Rice, A. P. (1982). Seveso accident: Dioxin. Em *Hazardous materials spills Handbook* (pp. 11–44). New York: McGraw-Hill.
- Ronza, A. (2007). *Contributions To The Risk Assessment Of Major Accidents In Port Areas*. Escola Tècnica Superior d'Enginyers Industrials de Barcelona; Universitat Politècnica de Catalunya, Spain.
- Ronza, A., Félez, S., Darbra, R. M., Carol, S., Vilchez, J. A., & Casal, J. (2003). Predicting the frequency of accidents in port areas by developing event trees from historical analysis. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 16(6), 551–560. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jlp.2003.08.010>
- Rowlinson, J. S. (1958). The properties of real gases. Em S. Flugge (Ed.), *Encyclopedia of Physics* (1st editio, pp. 1–72). Berlin: Springer-Verlag OHG.
- Ruder, Z., & Hanratty, T. J. (1990). A definition of gas-liquid plug flow in horizontal pipes. *International Journal of Multiphase Flow*, 16(2), 233–242. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0301-9322\(90\)90056-O](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0301-9322(90)90056-O)
- Saeco. (2021). T75 Cryogenic Tanks. Obtido 12 de Outubro de 2021, de Tank Containers website: <https://www.seacoglobal.com/equipment/tank-containers/t75-cryogenic-tank/t75-cryogenic-tank/>
- Saenko, V., Ivanov, V., Tsyb, A., Bogdanova, T., Tronko, M., Demidchik, Y., & Yamashita, S. (2011). The Chernobyl Accident and its Consequences. *Clinical Oncology*, 23(4), 234–243. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.clon.2011.01.502>
- Sambeth, J. (1983). The Seveso accident. *Chemosphere*, 12(4), 681–686. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0045-6535\(83\)90227-8](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0045-6535(83)90227-8)
- Santos, C., & Neves, H. (2005). *Matérias Perigosas* (1st editio; C. F. Castro, J. B. Abrantes, J. Coelho, L. Abreu, & S. Rufino, Eds.). Obtido de <http://www.bombeiros.pt/wp-content/uploads/2013/07/09.MateriasPerigosas.pdf>
- Santos, J. L. (2009). *Fire and Explosion Risk Analysis*. Risiko Technik Gruppe Office of Scientific and Technical Information.
- Shaluf, I. (2007). An overview on BLEVE. *Disaster Prevention and Management*, 16, 740–754. <https://doi.org/10.1108/09653560710837037>

- Shebeko, Y. N., & Shebeko, A. Y. (2015). On the mechanism of a BLEVE occurrence due to fire engulfment of tanks with overheated liquids. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 36, 167–170. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2015.06.006>
- Shie, R. H., & Chan, C. C. (2013). Tracking hazardous air pollutants from a refinery fire by applying on-line and off-line air monitoring and back trajectory modeling. *Journal of Hazardous Materials*, 261, 72–82. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.07.017>
- Shreve, R. N., & Austin, G. T. (1984). *Shreve's Chemical process industries* (5th ed.). <https://doi.org/9781259029455>
- Shrivastava, P. (1992). *Bhopal: Anatomy of a crisis* (2nd Ed.). London: Paul Chapman Publishing Ltd.
- Siegel, J. D., Rhinehart, E., Jackson, M., & Chiarello, L. (2007). 2007 Guideline for Isolation Precautions: Preventing Transmission of Infectious Agents in Health Care Settings. *American Journal of Infection Control*, 35(10 SUPPL. 2). <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2007.10.007>
- Silano, V. (1985). *Evaluación de riesgos para la salud pública asociados con accidentes causados por agentes químicos*. Mexico: MX.
- Silva, F. N. da. (2007). *Avaliação do risco associado a atividades industriais e de transporte de substâncias perigosas*. Universidade de Aveiro.
- Silva, S. C. (2016). *Módulo Medidas de Autoproteção* (First Edit; S. C. Silva, Ed.). Porto: XZ Consultores.
- Skřínská, M., Skřínský, J., Sluka, V., Pražáková, M., Malý, S., Frišhansová, L., & Senčík, J. (2016). Analysis and Comparison of Calculation Methods for Release of Corrosive Gases. *Materials Science Forum*, 844, 106–112. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.844.106>
- Slovic, P. (2016). Perception of risk from radiation. *The Perception of Risk*, 97401(541), 264–274.
- Smith, K. (2013). *Environmental Hazards* (6th editio). <https://doi.org/10.4324/9780203805305>
- SMPC Matosinhos. (2021). *Estatística de transportes de matérias perigosas na Linha de Leixões (2011-2021)*. Matosinhos.
- Soares, P. M. M., Cardoso, R. M., Semedo, Á., Chinita, M. J., & Ranjha, R. (2014). Climatology of the Iberia coastal low-level wind jet: weather research forecasting model high-resolution results. *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*, 66(1), 22377. <https://doi.org/10.3402/tellusa.v66.22377>
- Sorbjan, Z. (2003a). Air Pollution Meteorology. Em *Air Quality Modeling - Theories, Methodologies, Computational Techniques and Available Databases and Software* (1st editio, Vol. 10). The EnviroComp Institute and Air & Waste Management Association.
- Sorbjan, Z. (2003b). Air Pollution Meteorology. Em P. Zannetti (Ed.), *Air Quality Modeling - Theories, Methodologies, Computational Techniques and Available Databases and Software*. Milwaukee: EnviroComp Institute and Air & Waste Manegement Association.
- Sorte, S., Arunachalam, S., Naess, B., Seppanen, C., Rodrigues, V., Valencia, A., ... Monteiro, A.

- (2019). Assessment of source contribution to air quality in an urban area close to a harbor: Case-study in Porto, Portugal. *Science of the Total Environment*, 662, 347–360. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.185>
- Sousa, M., Rocha, R., Lencastre, T., & Martins, B. (2020). A perceção do risco de acidentes graves em estabelecimentos Seveso - Refinaria de Matosinhos. *V Congresso Internacional de Riscos*. Coimbra: Universidade de Coimbra.
- Steinhaus, T., Welch, S., Carvel, R. O., & Torero, J. L. (2007). Large-scale pool fires. *Thermal Science*, 11(2), 101–118. <https://doi.org/10.2298/TSCI0702101S>
- Stephens, H. W. (1993). The Texas City Disaster: a re-examination. *Industrial & Environmental Crisis Quarterly*, 7(3), 189–204. <https://doi.org/10.1177/108602669300700303>
- Svensson, C.-J., & Wang, X. (2009). *Secure and Efficient Intermodal Dangerous Goods Transport*. University of Gothenburg.
- Talawar, M. B., Agrawal, A. P., Anniyappan, M., Wani, D. S., Bansode, M. K., & Gore, G. M. (2006). Primary explosives: Electrostatic discharge initiation, additive effect and its relation to thermal and explosive characteristics. *Journal of Hazardous Materials*, 137(2), 1074–1078. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.03.043>
- Tavares, R. A. M. (2011). *Libertação accidental de gases tóxicos: modelação e avaliação do risco*. Universidade de Aveiro.
- Tavares, R., Sara, J., Lopes, M., & Miranda, A. I. (2010). Potential effects on population due to an accidental release of vinyl chloride in a sea port. *ESREL Annual Meeting 20210*, 5–9. Rhodes - Greece.
- Thomson, B. J. (1998). *Proceedings of international workshop on safety in the transport, storage and use of hazardous materials*. Tokyo: NRIFD.
- Timbrell, J. A. (1989). *Introduction to Toxicology* (Vol. 34). <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/food.19900340420>
- Tixier, J., Dusserre, G., Salvi, O., & Gaston, D. (2002). Review of 62 risk analysis methodologies of industrial plants. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 15(4), 291–303. [https://doi.org/10.1016/S0950-4230\(02\)00008-6](https://doi.org/10.1016/S0950-4230(02)00008-6)
- Tseng, J. M., Su, T. S., & Kuo, C. Y. (2012). Consequence evaluation of toxic chemical releases by ALOHA. *Procedia Engineering*, 45, 384–389. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.08.175>
- U.S. Department of Transportation, Bureau of Transportation Statistics, U.S. Department of Commerce, & Census Bureau. (2017). *Commodity Flow Survey, Hazardous Materials Series - Table CF1700H01*. Washington D.C.
- U.S. Department of Transportation, & Transports Canada. (2020). *Emergency Response Guidebook*. <https://doi.org/10.1201/b22284-14>
- UCL CRED. (2021). *EM-DAT: The Emergency Events Database*. Obtido de www.emdat.be
- Uehara, Y., & Nakajima, T. (1985). Proposal of a new test method for the classification of oxidizing substances. *Journal of Hazardous Materials*, 10(1), 89–106.

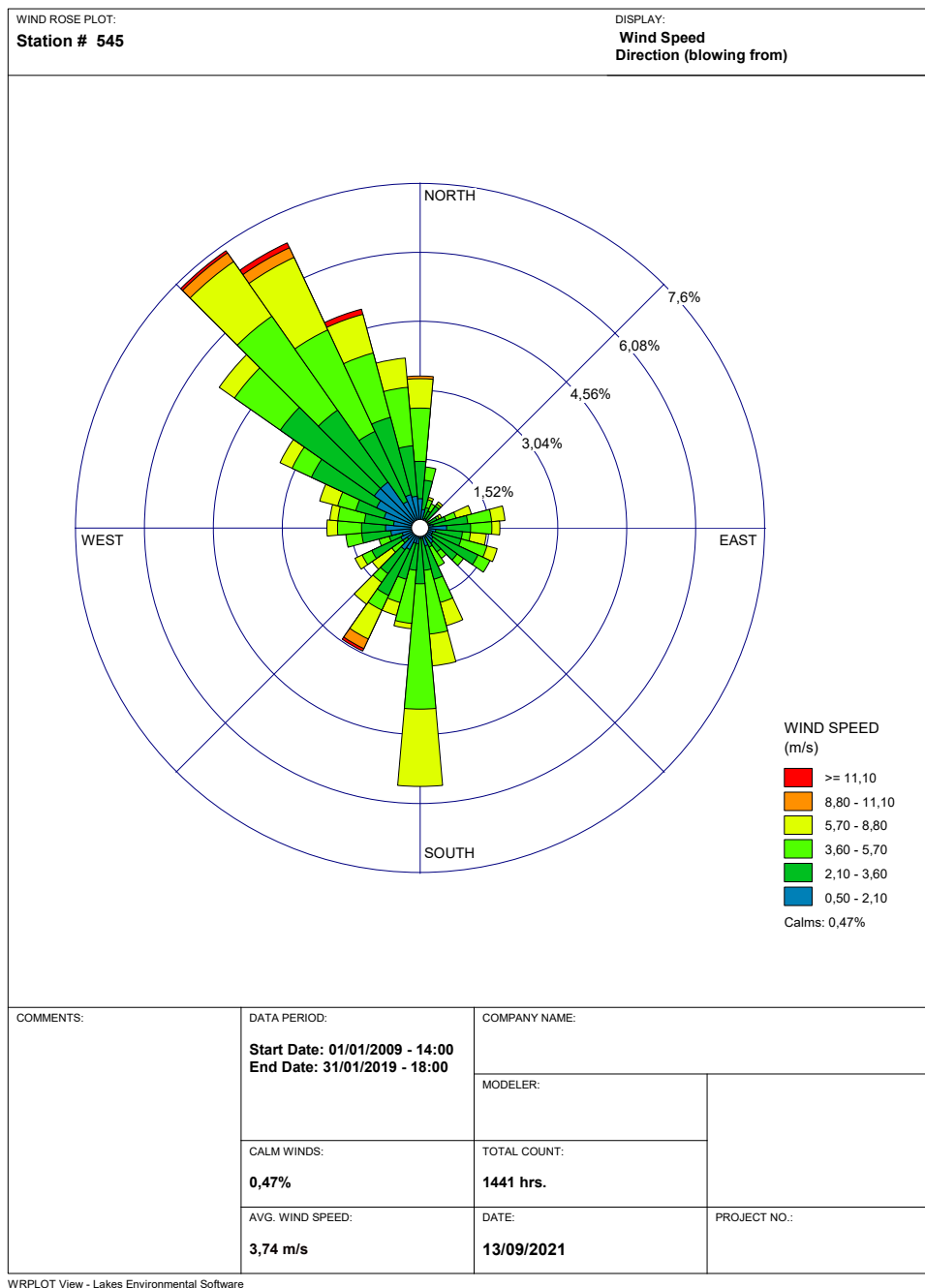
- [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0304-3894\(85\)80007-8](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0304-3894(85)80007-8)
- Ulden, A. P. (1988). *The spreading and mixing of dense gas clouds in still air* (Royal Netherlands Meteorological Institute). Obtido de <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:54c6735f-21ff-4faf-acee-5cbfb7da7f13>
- UNECE. (2021). About the ADR. Obtido 28 de Agosto de 2021, de Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road website: <https://unece.org/about-adr>
- UNSCEAR. (2008). *Effects of ionizing radiation: United Nations Scientific Committee on the Effects of atomic radiation*. <https://doi.org/13:9789211422634>
- UNSCEAR. (2009). *Effects of ionizing radiation: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation*. <https://doi.org/13:9789211422702>
- Uth, H.-J., & Wiese, N. (2004). Central collecting and evaluating of major accidents and near-miss-events in the Federal Republic of Germany - Results, experiences, perspectives. *Journal of hazardous materials*, 111, 139–145. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2004.02.022>
- Venkatram, A. (1996). An examination of the Pasquill-Gifford-Turner dispersion scheme. *Atmospheric Environment*, 30(8), 1283–1290. [https://doi.org/10.1016/1352-2310\(95\)00367-3](https://doi.org/10.1016/1352-2310(95)00367-3)
- Vílchez, J. A., Sevilla, S., Montiel, H., & Casal, J. (1995a). Historical analysis of accidents in chemical plants and in the transportation of hazardous materials. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 8(2), 87–96. [https://doi.org/10.1016/0950-4230\(95\)00006-M](https://doi.org/10.1016/0950-4230(95)00006-M)
- Vílchez, J. A., Sevilla, S., Montiel, H., & Casal, J. (1995b). Historical analysis of accidents in chemical plants and in the transportation of hazardous materials. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 8(2), 87–96. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0950-4230\(95\)00006-M](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0950-4230(95)00006-M)
- Walker, G. (1995). Land use planning, industrial hazards and the ‘COMAH’ Directive. *Land Use Policy*, 12(3), 187–191. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0264-8377\(95\)00002-U](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0264-8377(95)00002-U)
- Walls, W. L. (1978). Just what is a BLEVE? *NFPA Fire Journal*, 46–47.
- Walls, W. L. (1979). The BLEVE - Part 1. *Fire Command*, 22–24.
- Wang, Z., Zhou, K., Zhang, L., Nie, X., Wu, Y., Jiang, J., ... He, L. (2021). Flame extension area and temperature profile of horizontal jet fire impinging on a vertical plate. *Process Safety and Environmental Protection*, 147, 547–558. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.11.028>
- Webber, D. M., Grant, S. E., Ivings, M. J., & Jagger, S. F. (2010). LNG source term models for hazard analysis. Em *HSE Report RR789*. Buxton.
- Wettig, J., & Porter, S. (1999). *The Seveso II Directive*. London: DG Environment.
- Wettig, J., Porter, S., & Kirchsteiger, C. (1999). Major industrial accidents regulation in the European Union. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 12(1), 19–28. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0950-4230\(98\)00034-5](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0950-4230(98)00034-5)
- White, D. A., & Gottuk, D. T. (2008). Liquid Fuel Fires. Em *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering* (4th editio). New York: NFPA.

- WHO. (2005). Chernobyl: The true scale of the accident: 20 years later. Obtido 8 de Abril de 2021, de <https://www.who.int/news/item/05-09-2005-chernobyl-the-true-scale-of-the-accident>
- Wilday, J., Fraser, S., Fullam, B., Ashcroft, S., & McCann, R. (2014). Estimating possible impact of the Seveso III Directive for the UK to inform negotiation and implementation. *Institution of Chemical Engineers Symposium Series*, 50(159), 1–11.
- Willey, R. J., Crowl, D. A., & Lepkowski, W. (2005). The Bhopal tragedy: its influence on process and community safety as practiced in the United States. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 18(4), 365–374. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jlp.2005.06.019>
- Wilson, D. C. (1982). Lessons from Seveso. *Chemistry in Britain*, 18(7), 499–504.
- Yilmaz, Z., Erol, S., & Aplak, H. S. (2016). Transportation of hazardous materials (hazmat) a literature survey. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 22(1), 39–53. <https://doi.org/10.5505/pajes.2015.62134>
- Zawistowski, E. A., Krasny, J. F., Braun, E., Peacock, R., & Williams, N. (1977). *The measurement of fabric flammability parameters in experiments simulating human movement in burn accidents* (N. NBSIR 77-1236). Washington.
- Zhang, J. H., Liu, H. Y., Zhu, R., & Liu, Y. (2017). Emergency evacuation of hazardous chemical accidents based on diffusion simulation. *Complexity*, 2017(2002). <https://doi.org/10.1155/2017/4927649>
- Zhang, J., Laboureur, D., Liu, Y., & Mannan, M. S. (2016). Lessons learned from a supercritical pressure BLEVE in Nihon Dempa Kogyo Crystal Inc. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 41, 315–322. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2016.02.012>
- Zhao, J., Huang, H., Jomaas, G., Zhong, M., & Yang, R. (2018). Experimental study of the burning behaviors of thin-layer pool fires. *Combustion and Flame*, 193, 327–334. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2018.03.018>

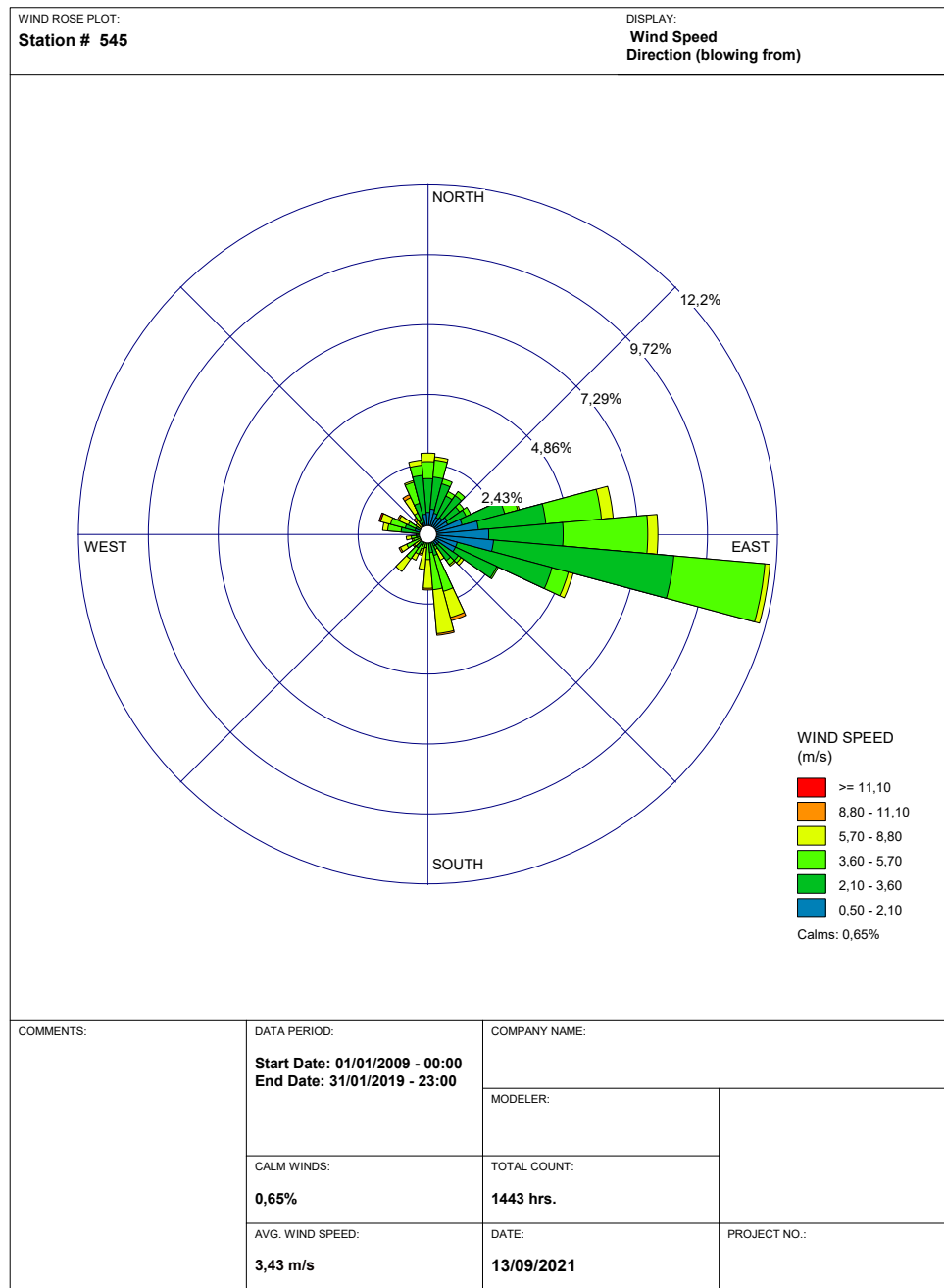
Anexos

Anexo A – Rosas dos ventos

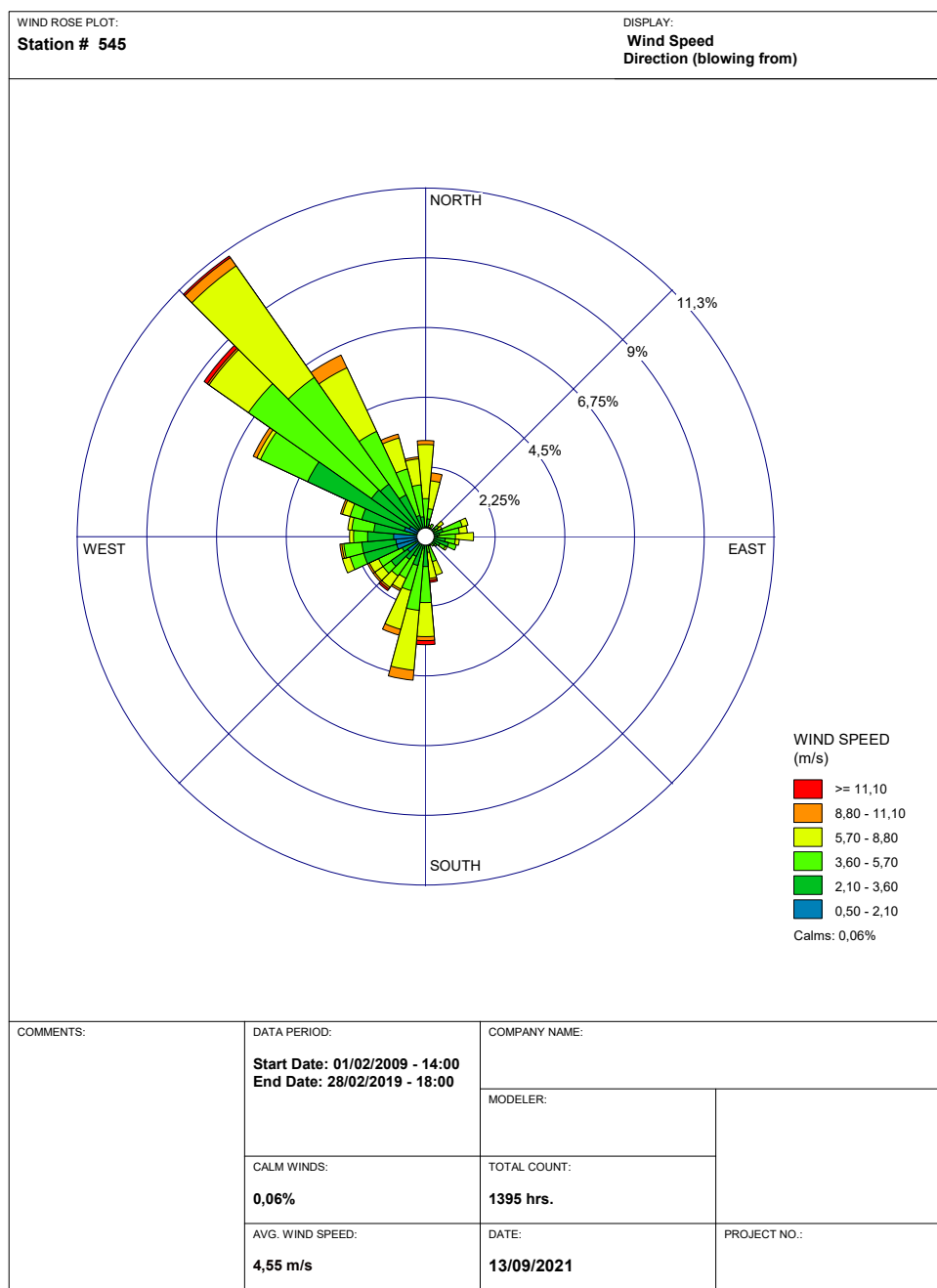
Janeiro – 14h00 a 18h00



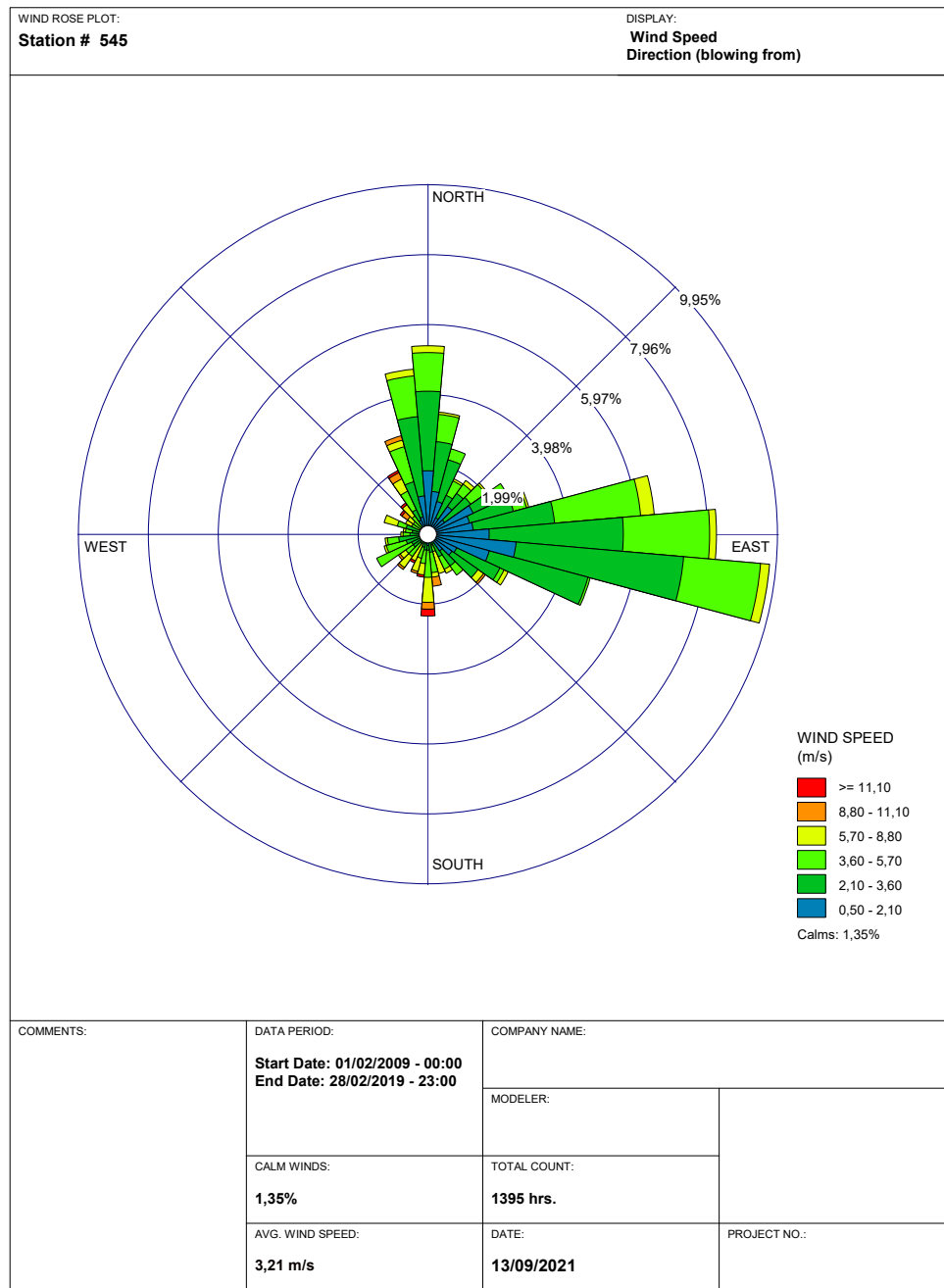
Janeiro – 23h00 a 03h00



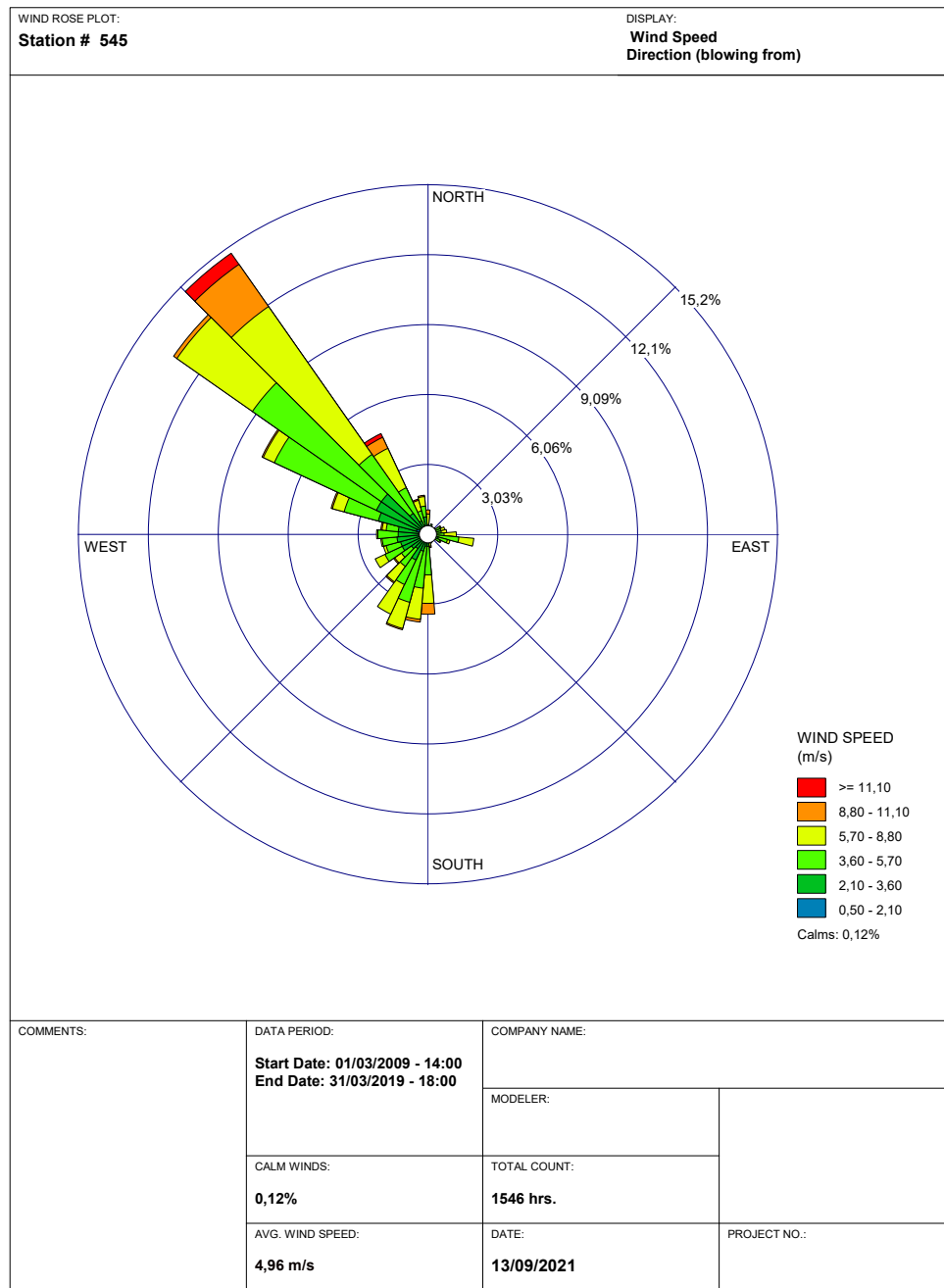
Fevereiro – 14h00 a 18h00



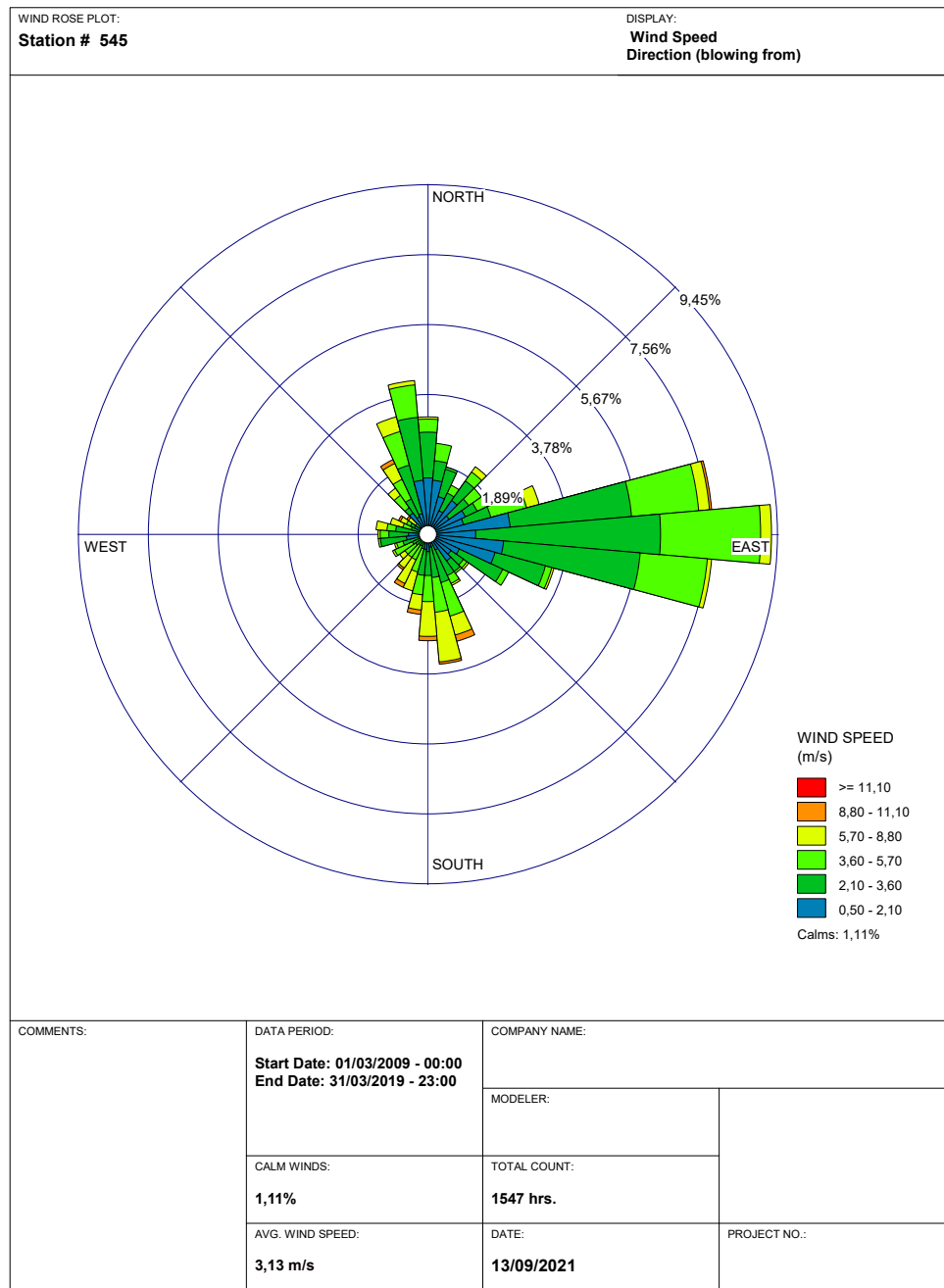
Fevereiro – 23h00 a 03h00



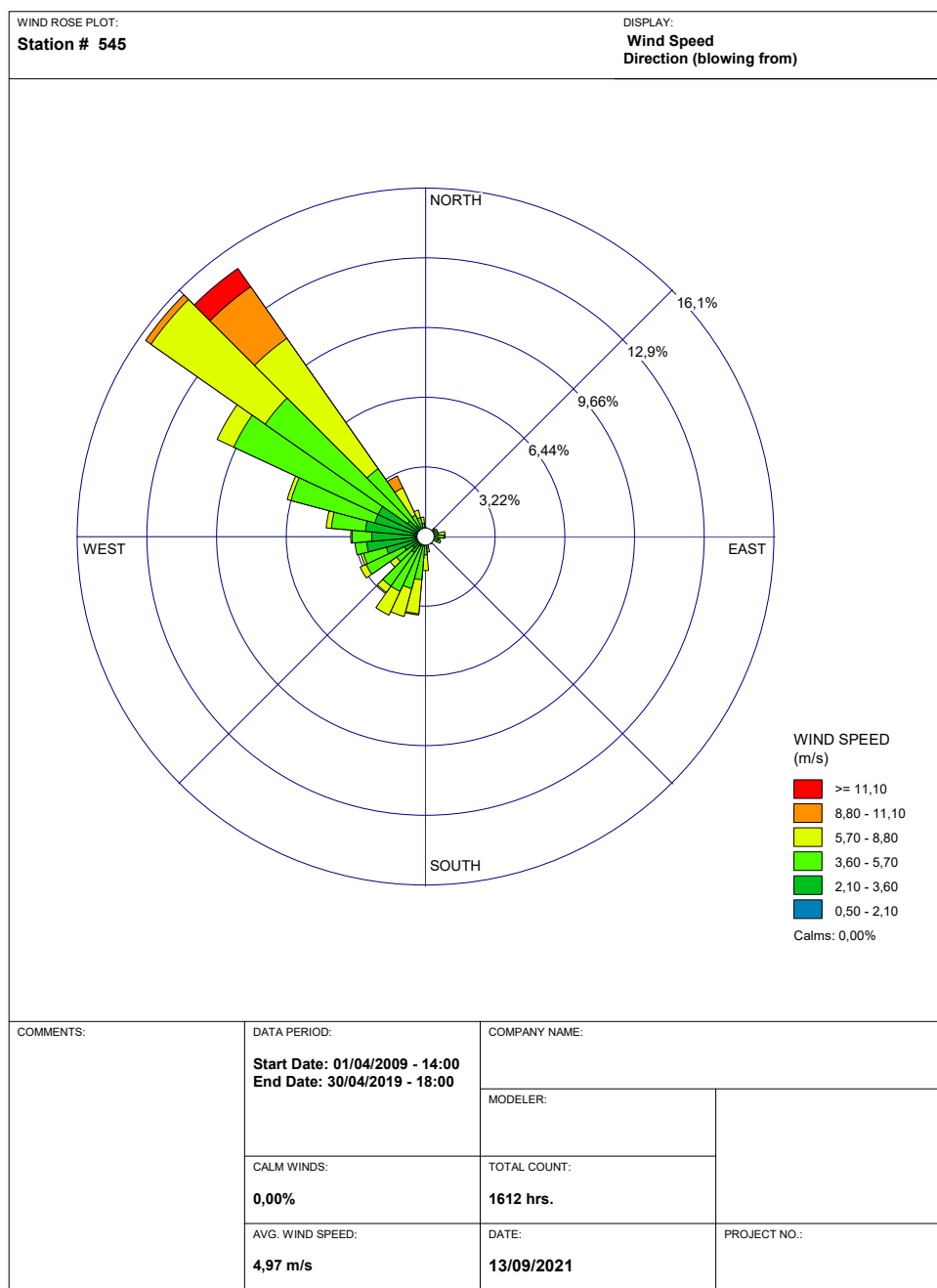
Março – 14h00 a 18h00



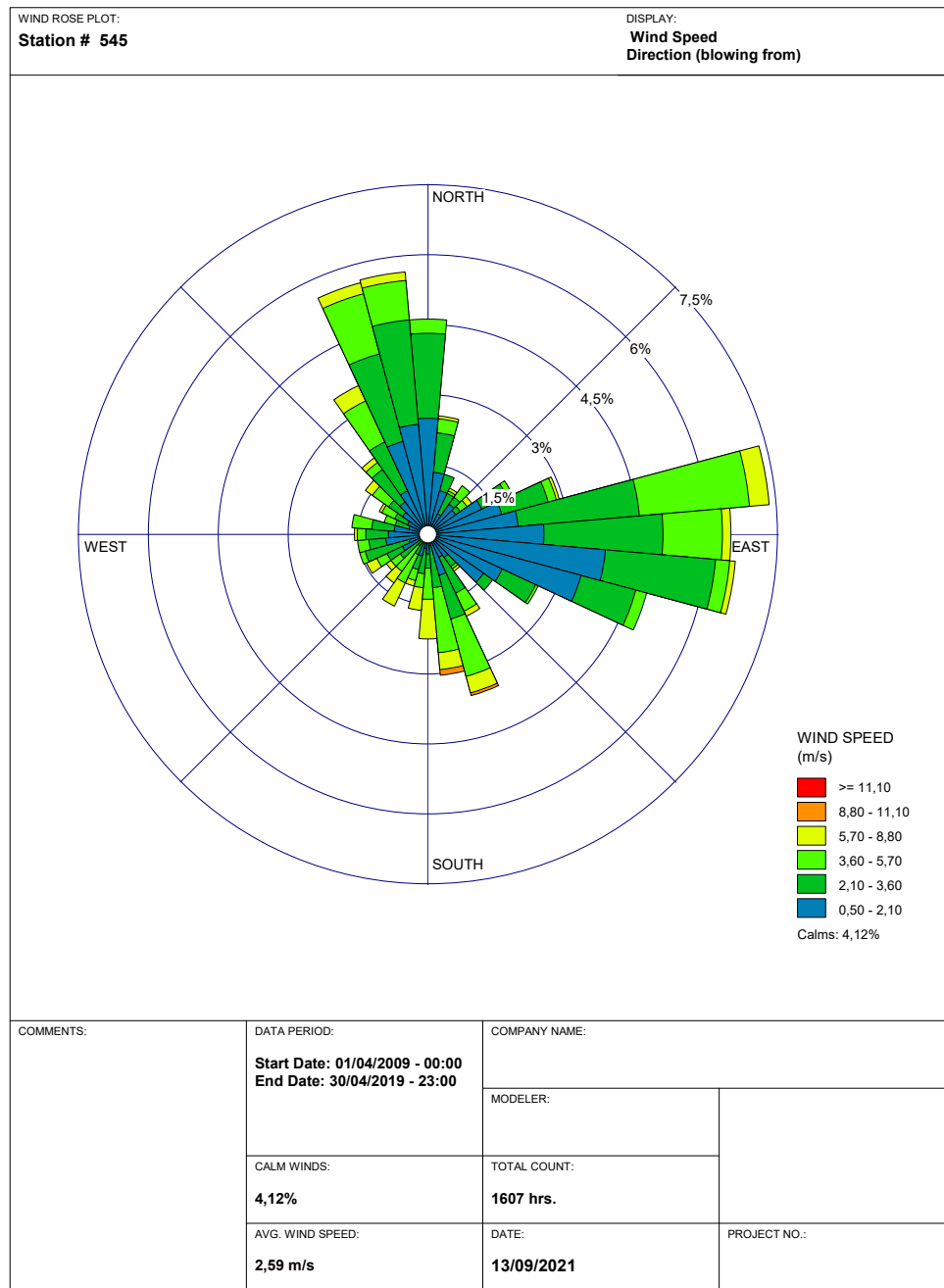
Março – 23h00 a 03h00



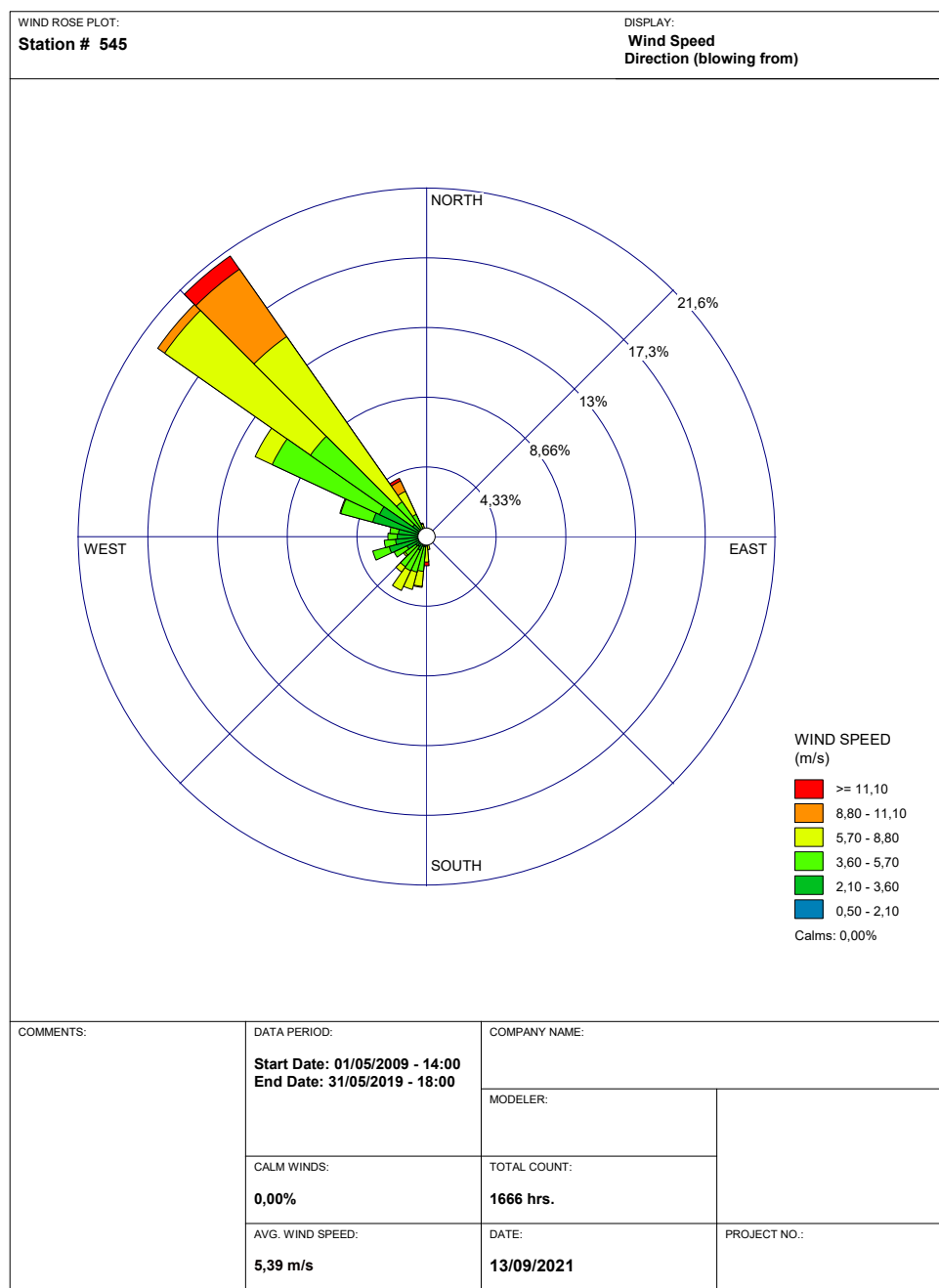
Abril – 14h00 a 18h00



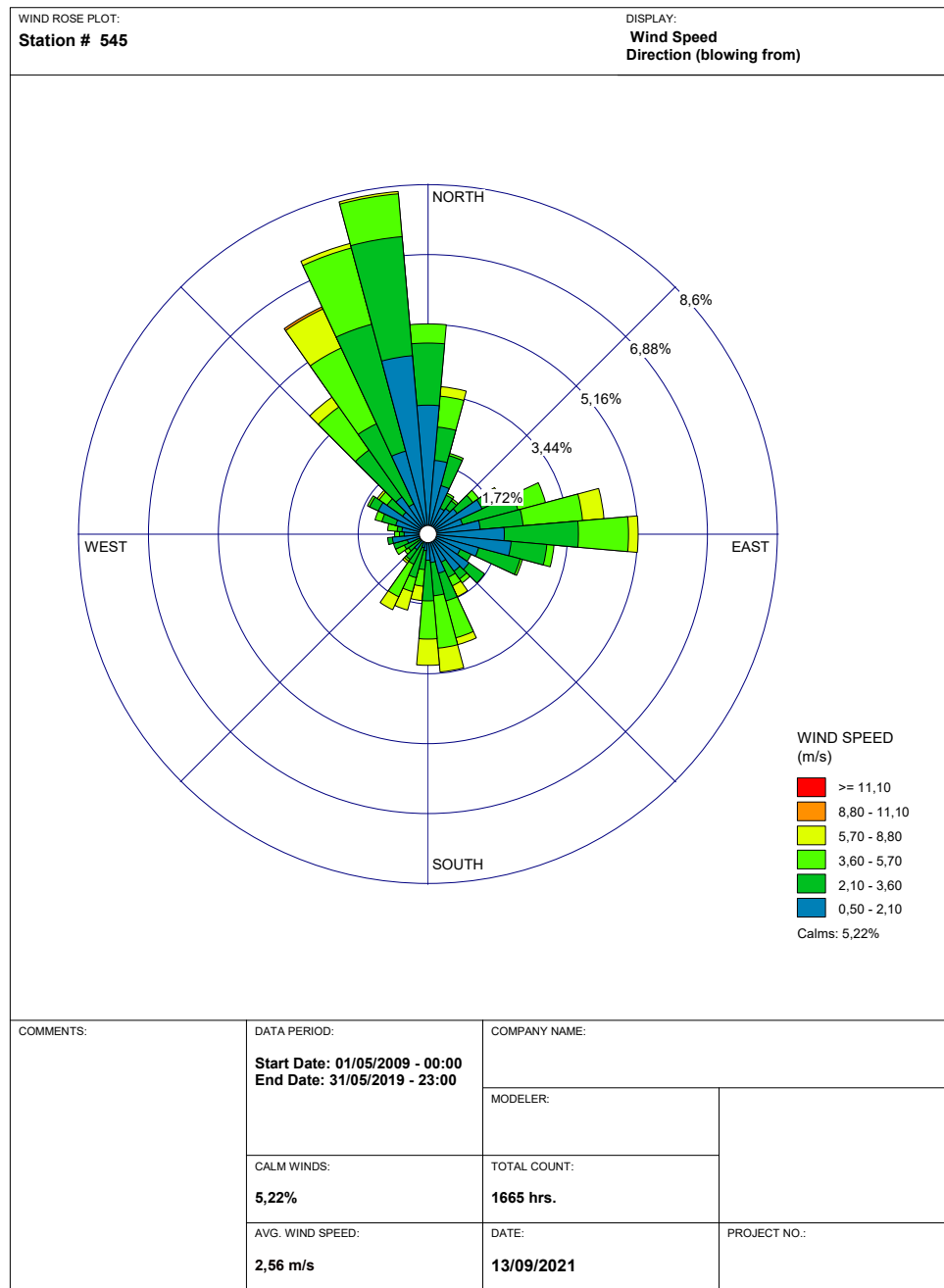
Abril – 23h00 a 03h00



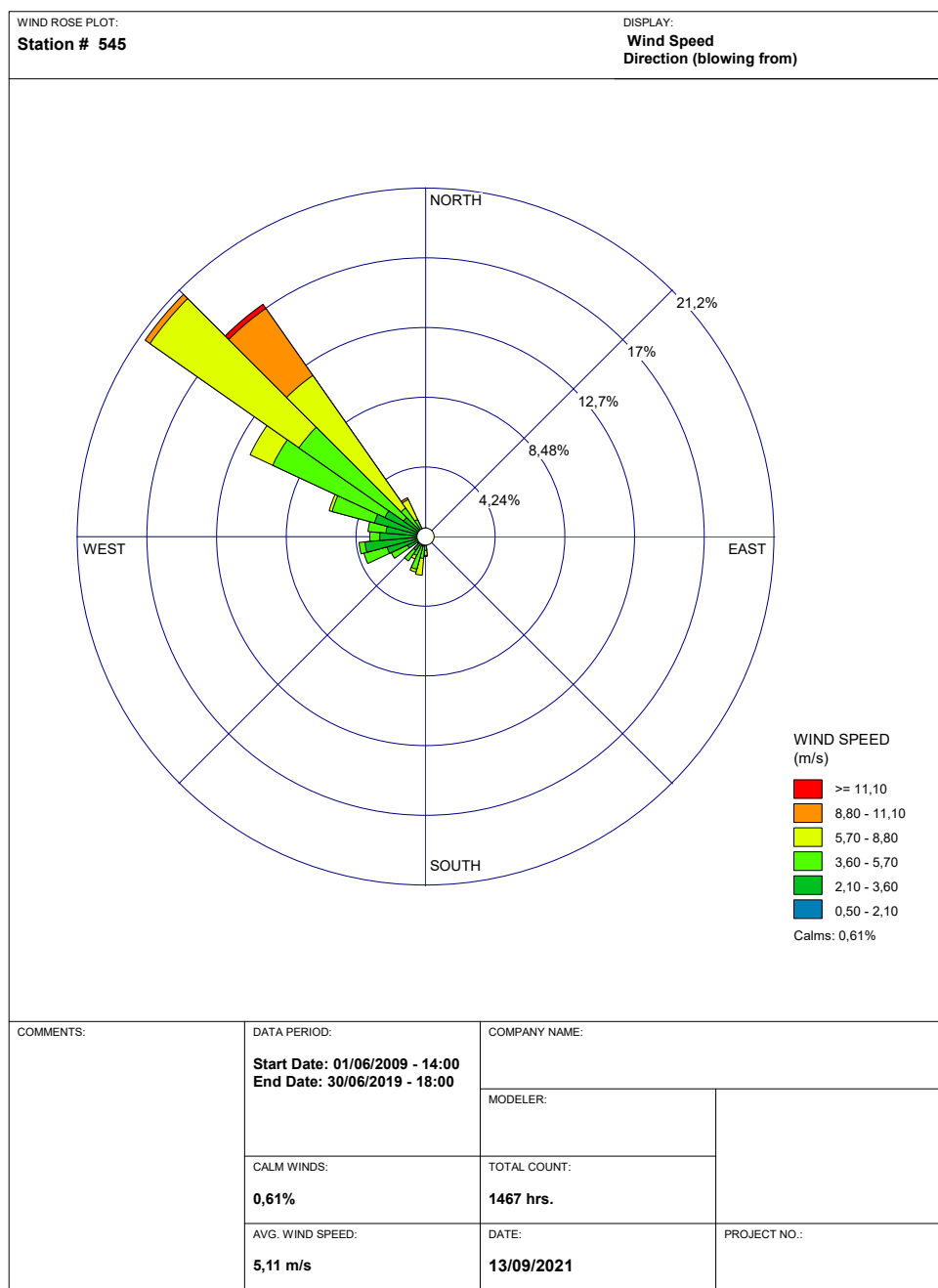
Maio – 14h00 a 18h00



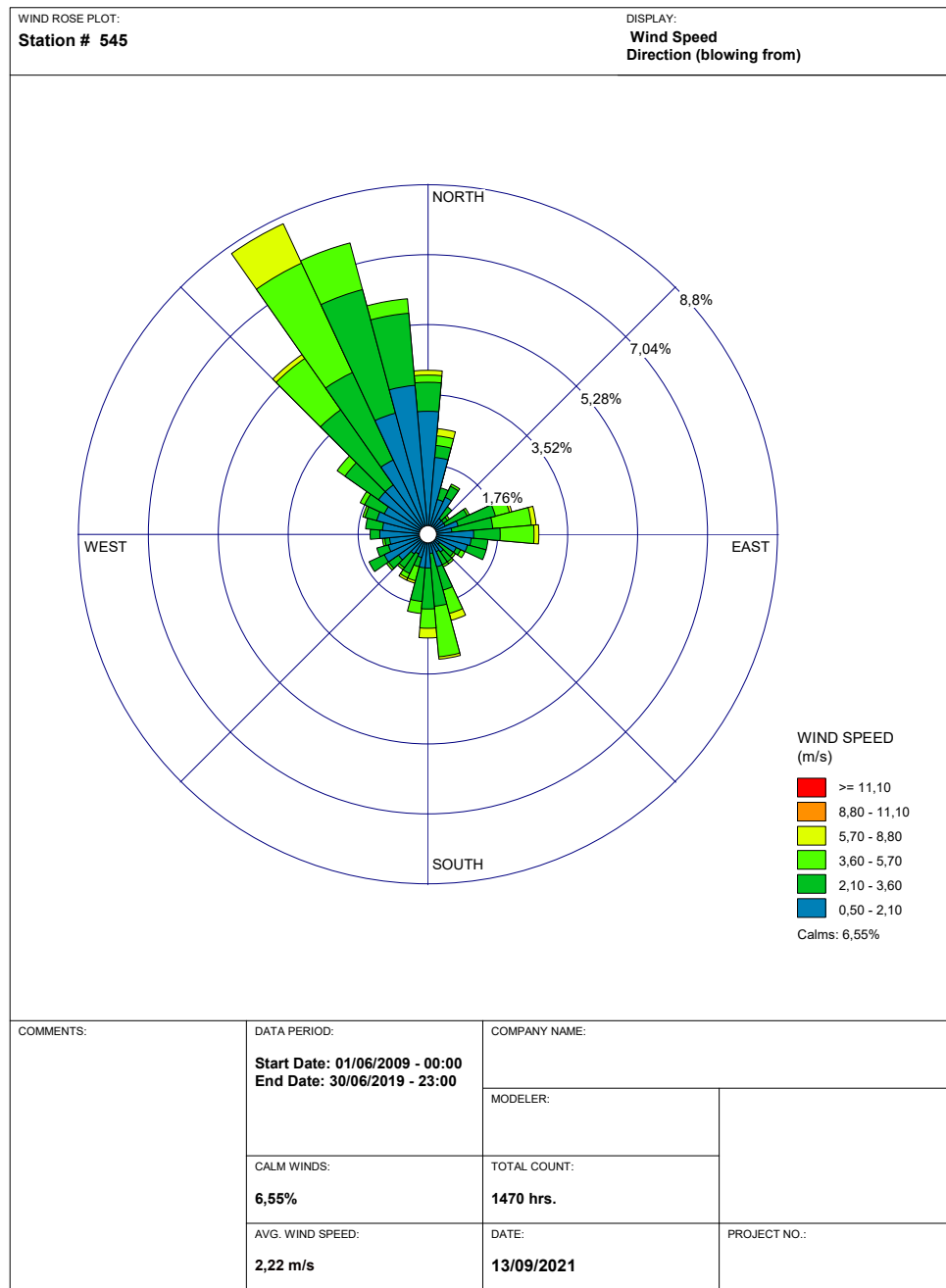
Maio – 23h00 a 03h00



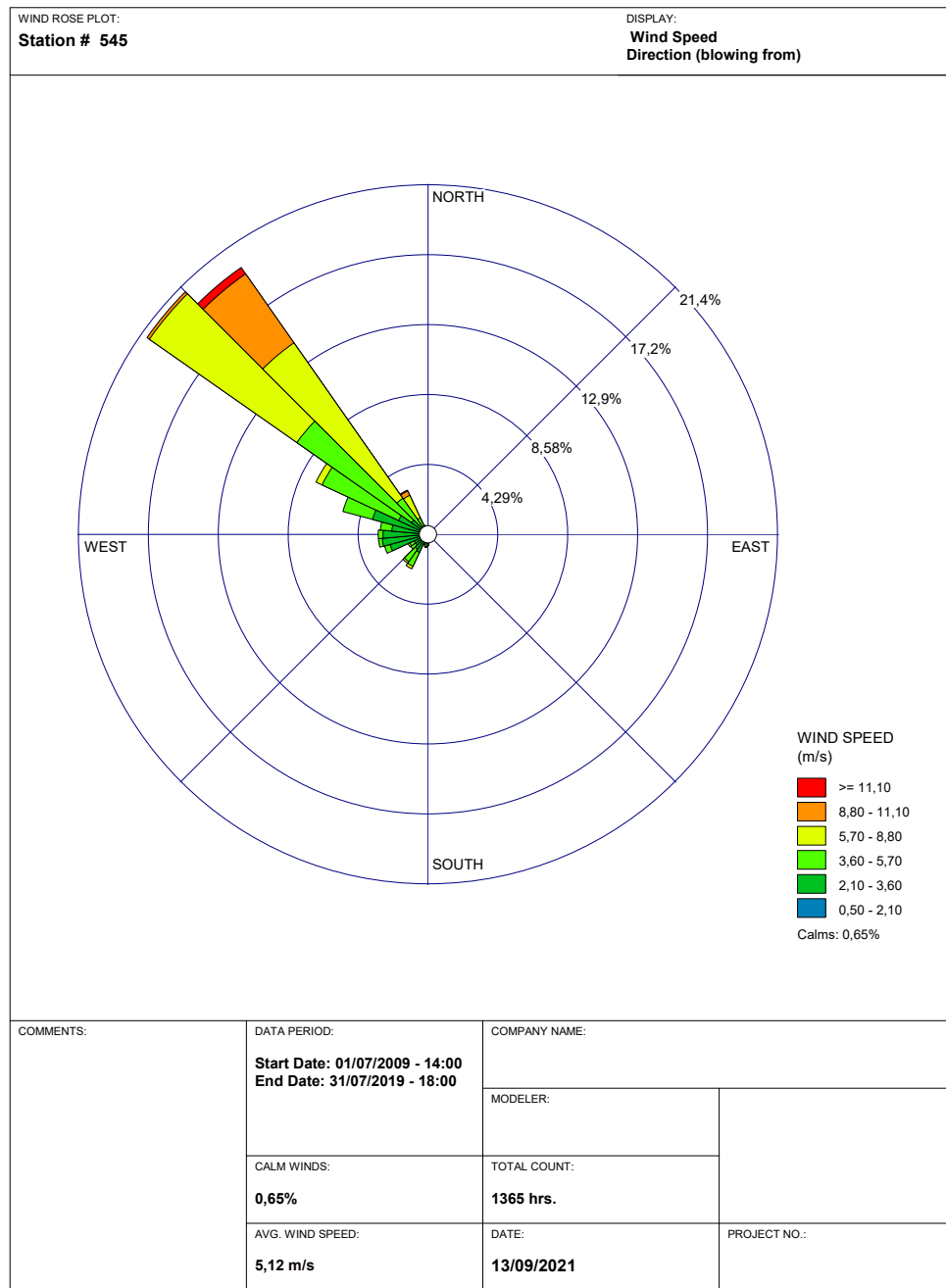
Junho – 14h00 a 18h00



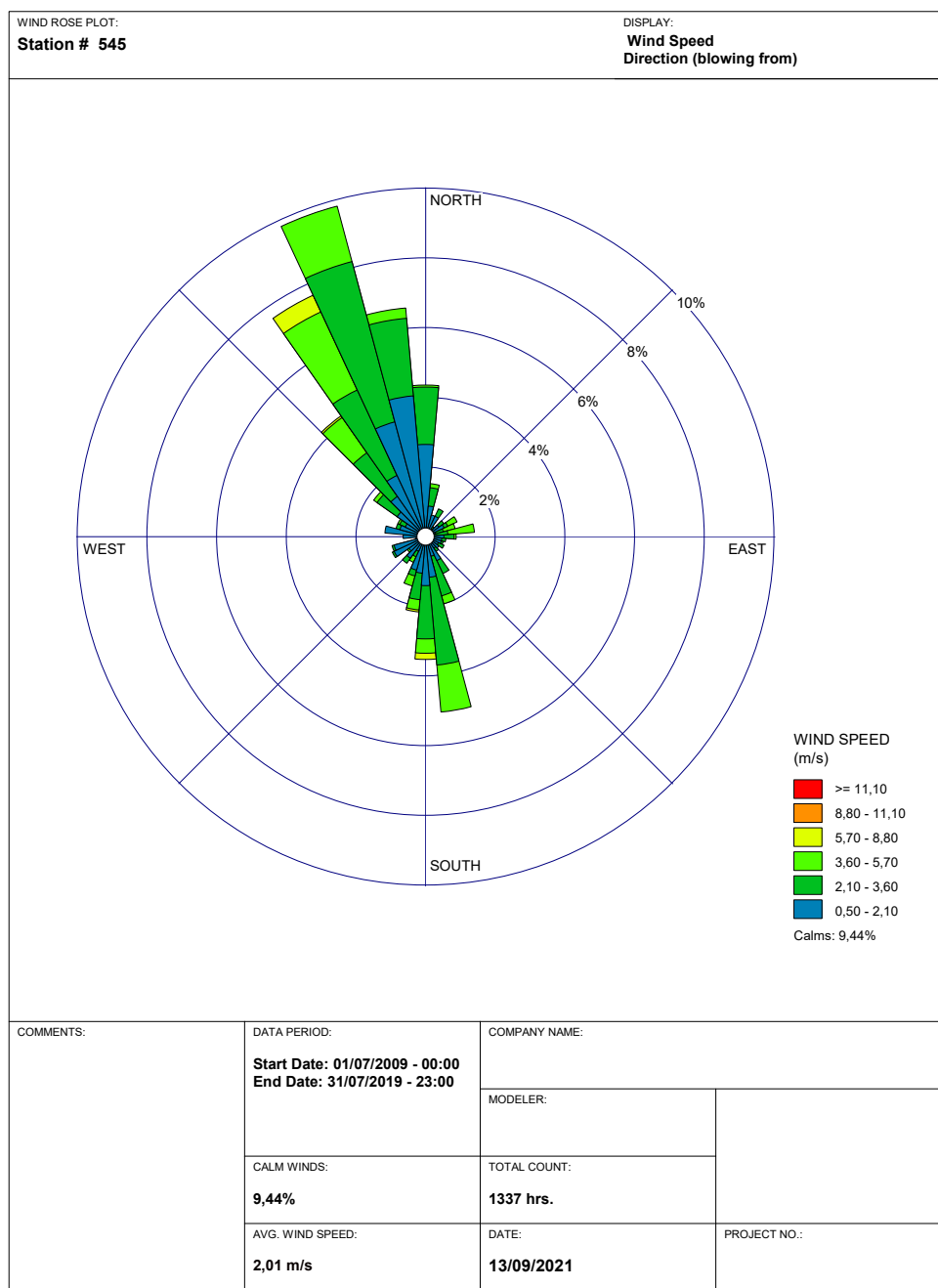
Junho – 23h00 a 03h00



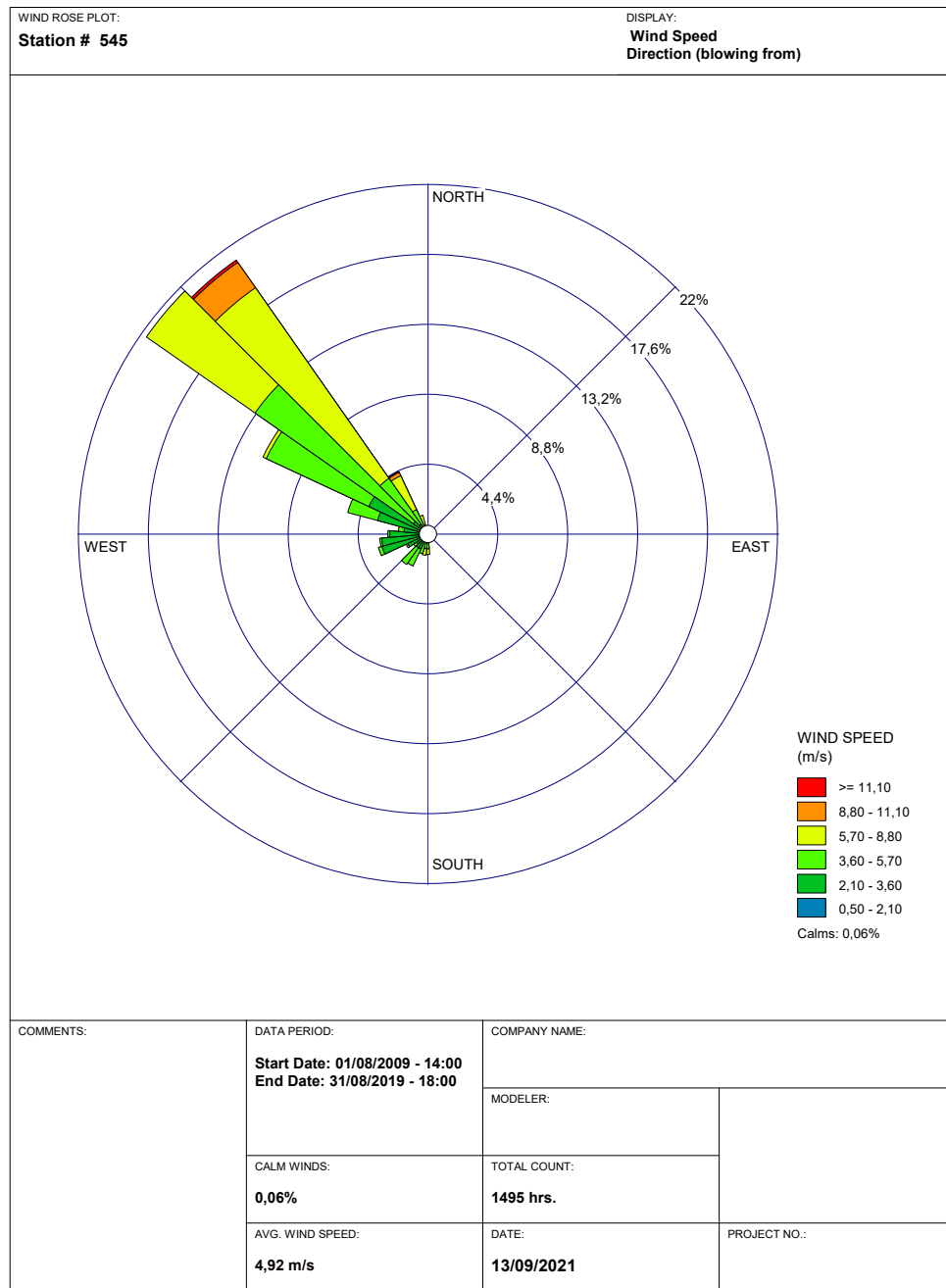
Julho – 14h00 a 18h00



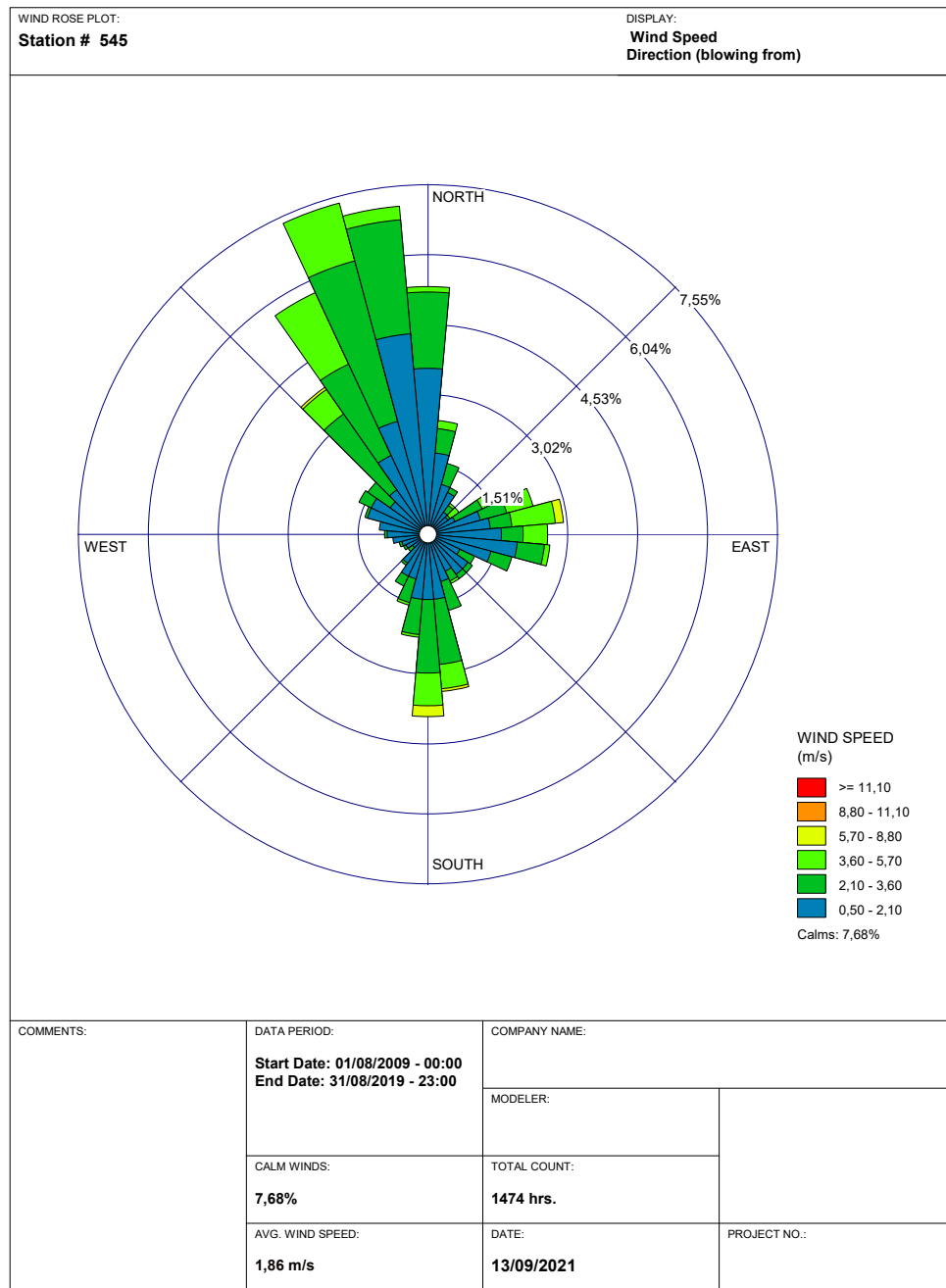
Julho – 23h00 a 03h00



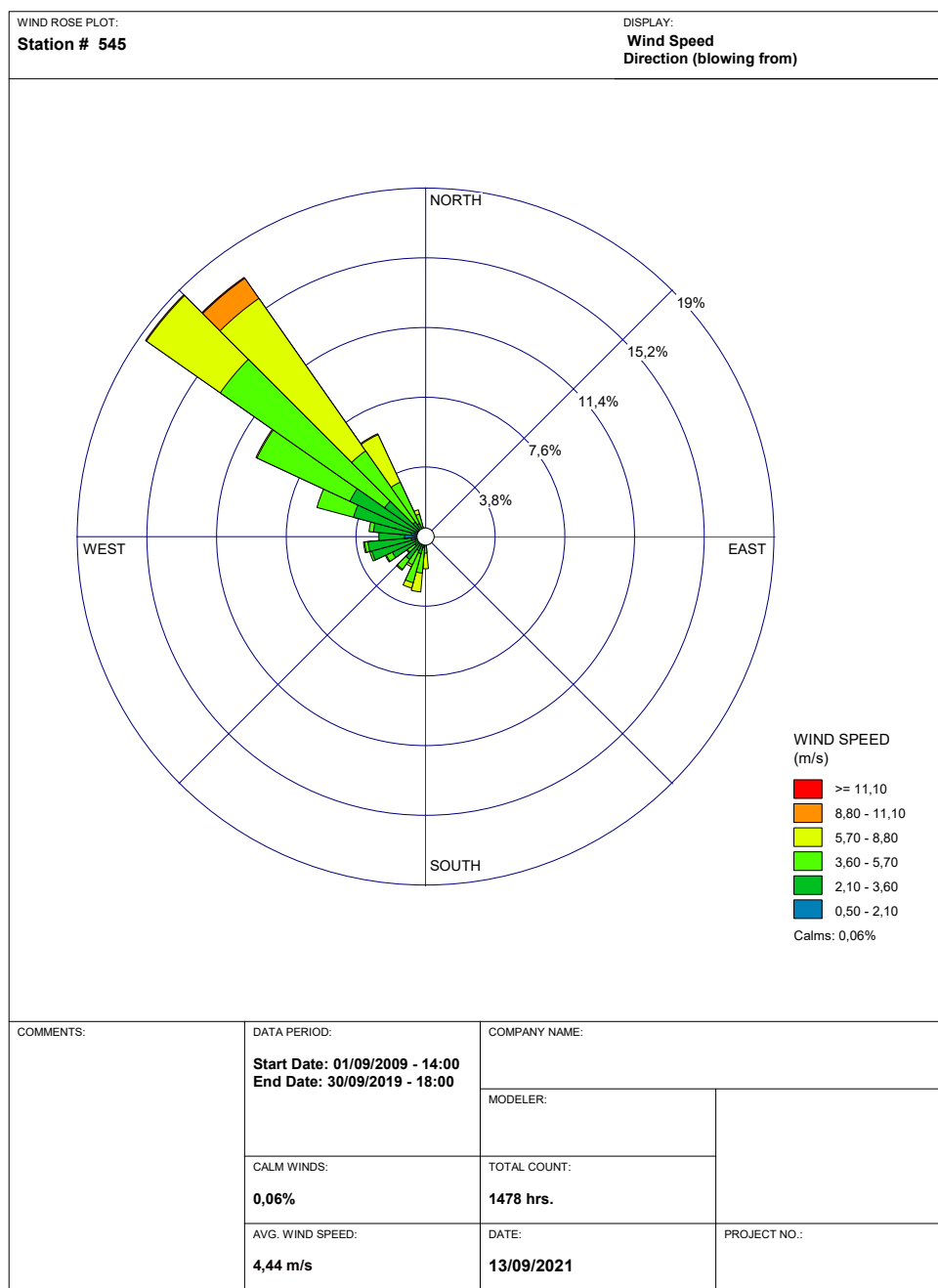
Agosto – 14h00 a 18h00



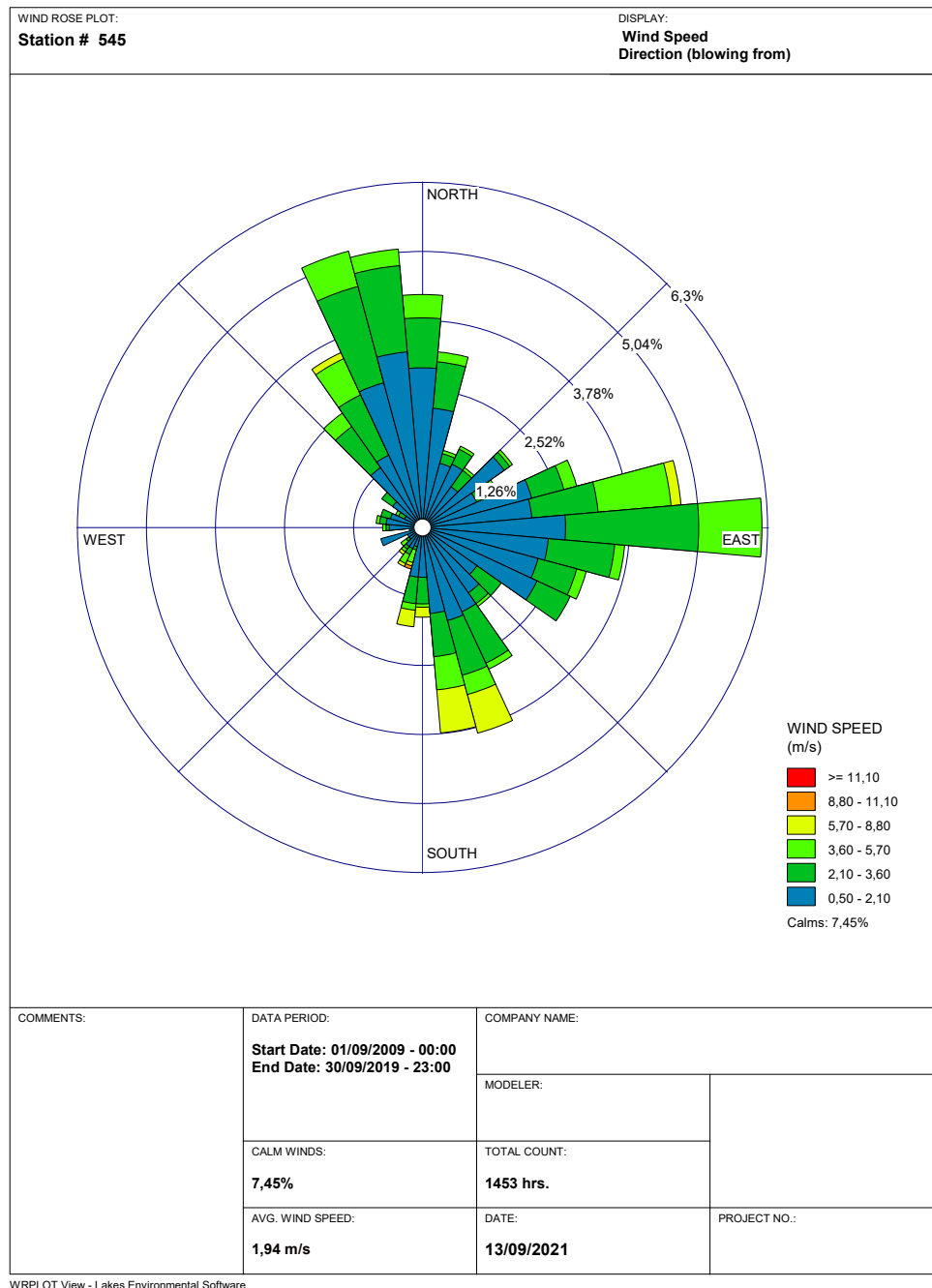
Agosto – 23h00 a 03h00



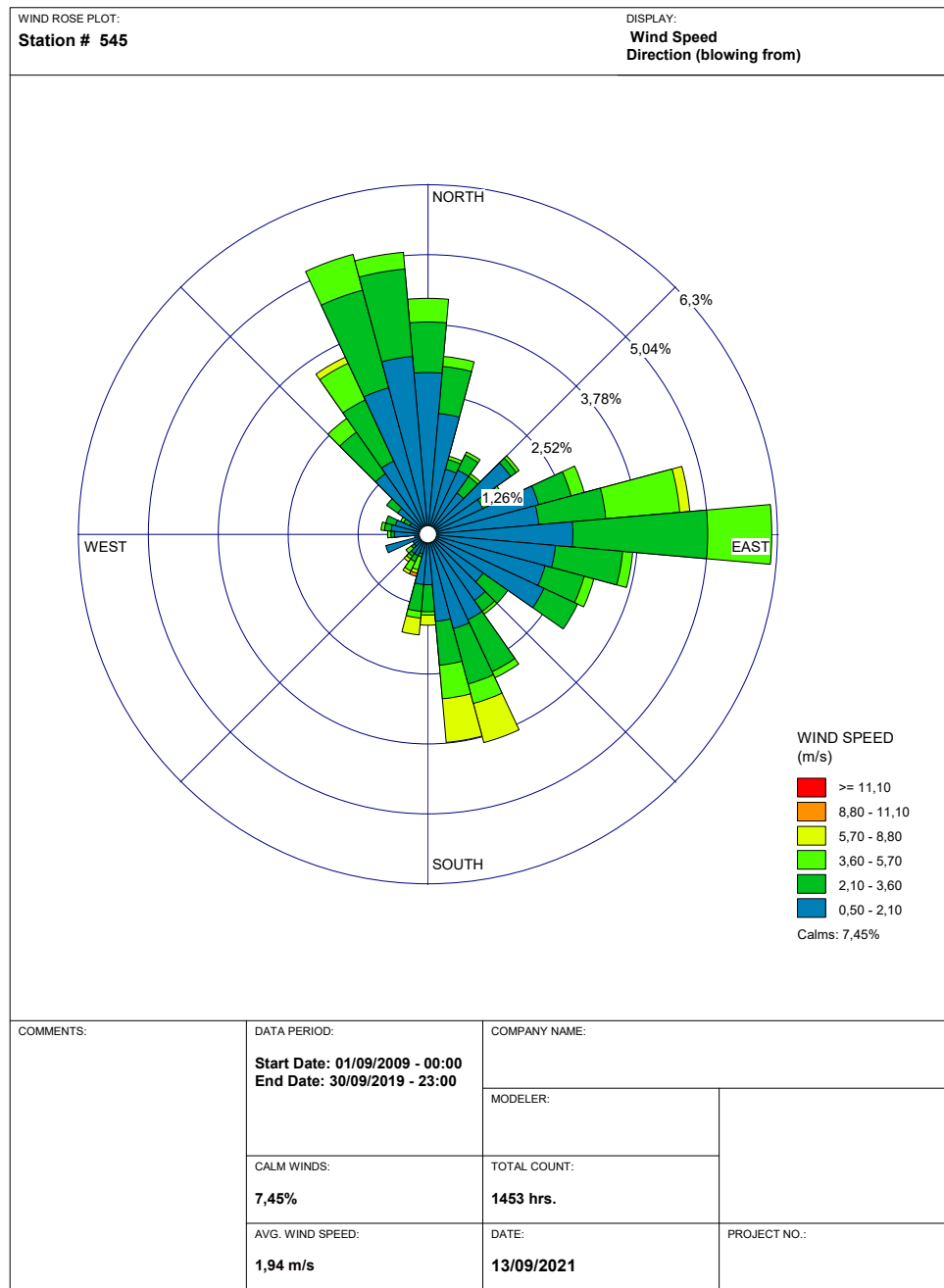
Setembro – 14h00 a 18h00



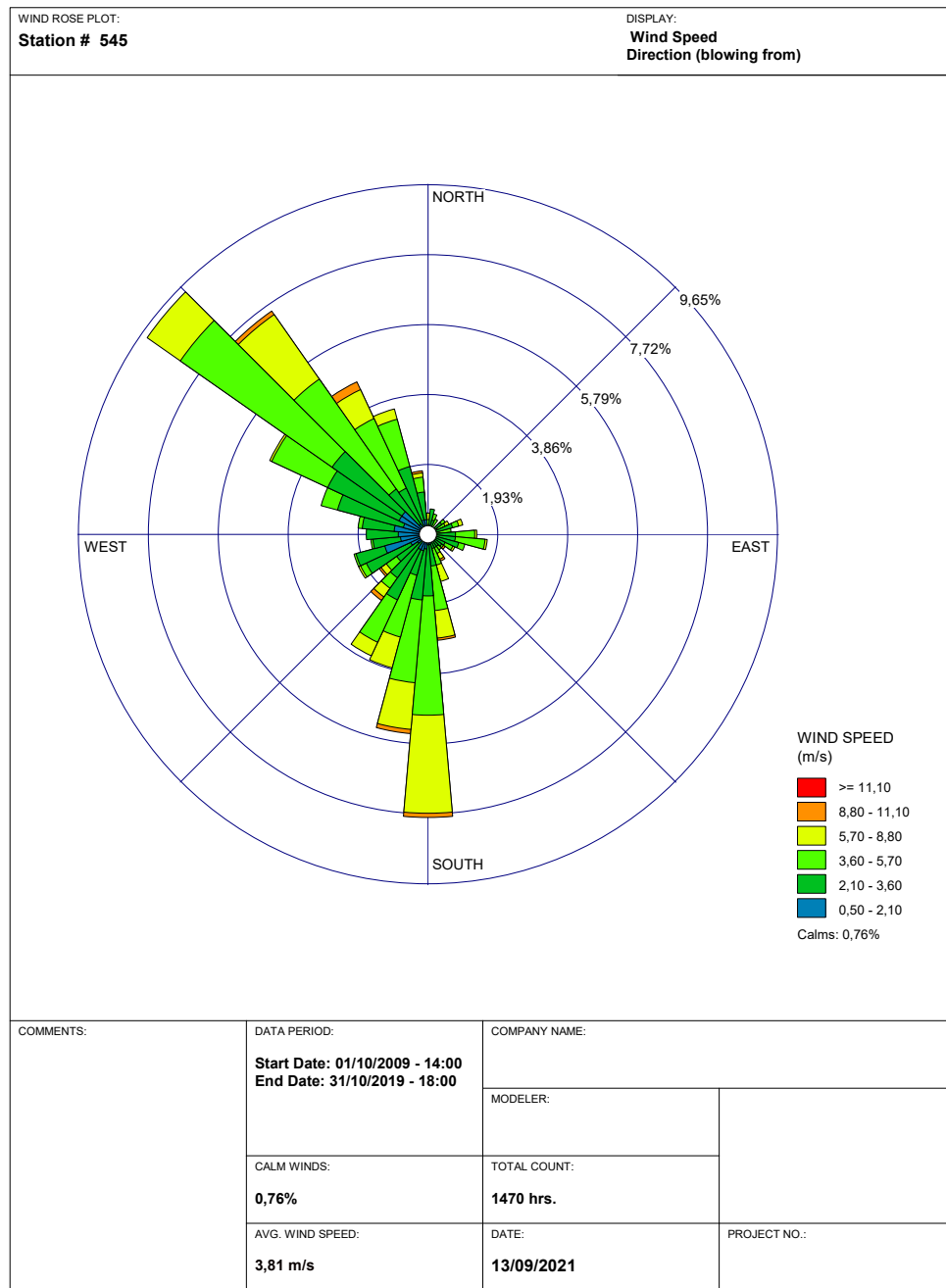
Setembro – 23h00 a 03h00



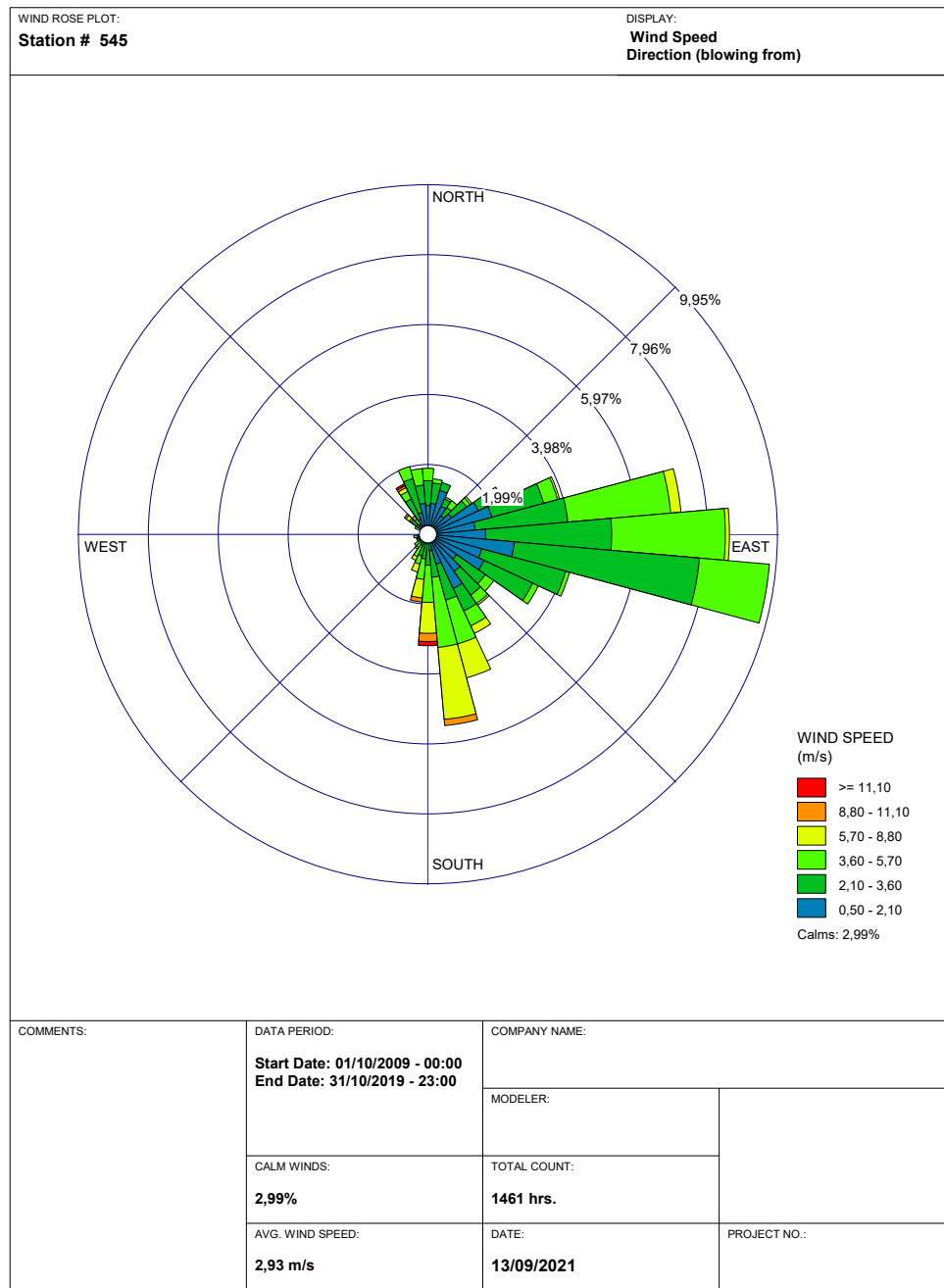
Setembro – 23h00 a 03h00



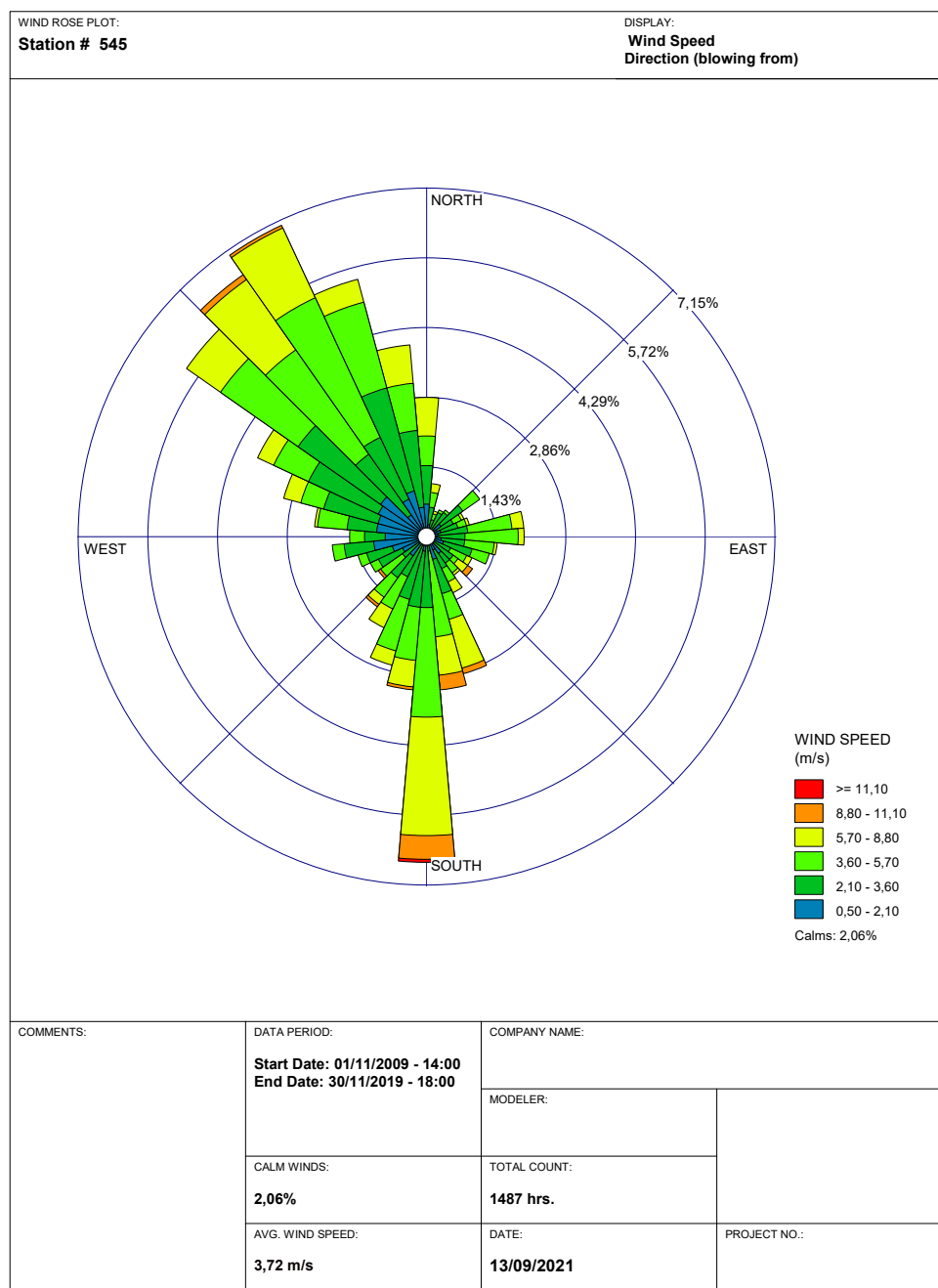
Outubro – 14h00 a 18h00



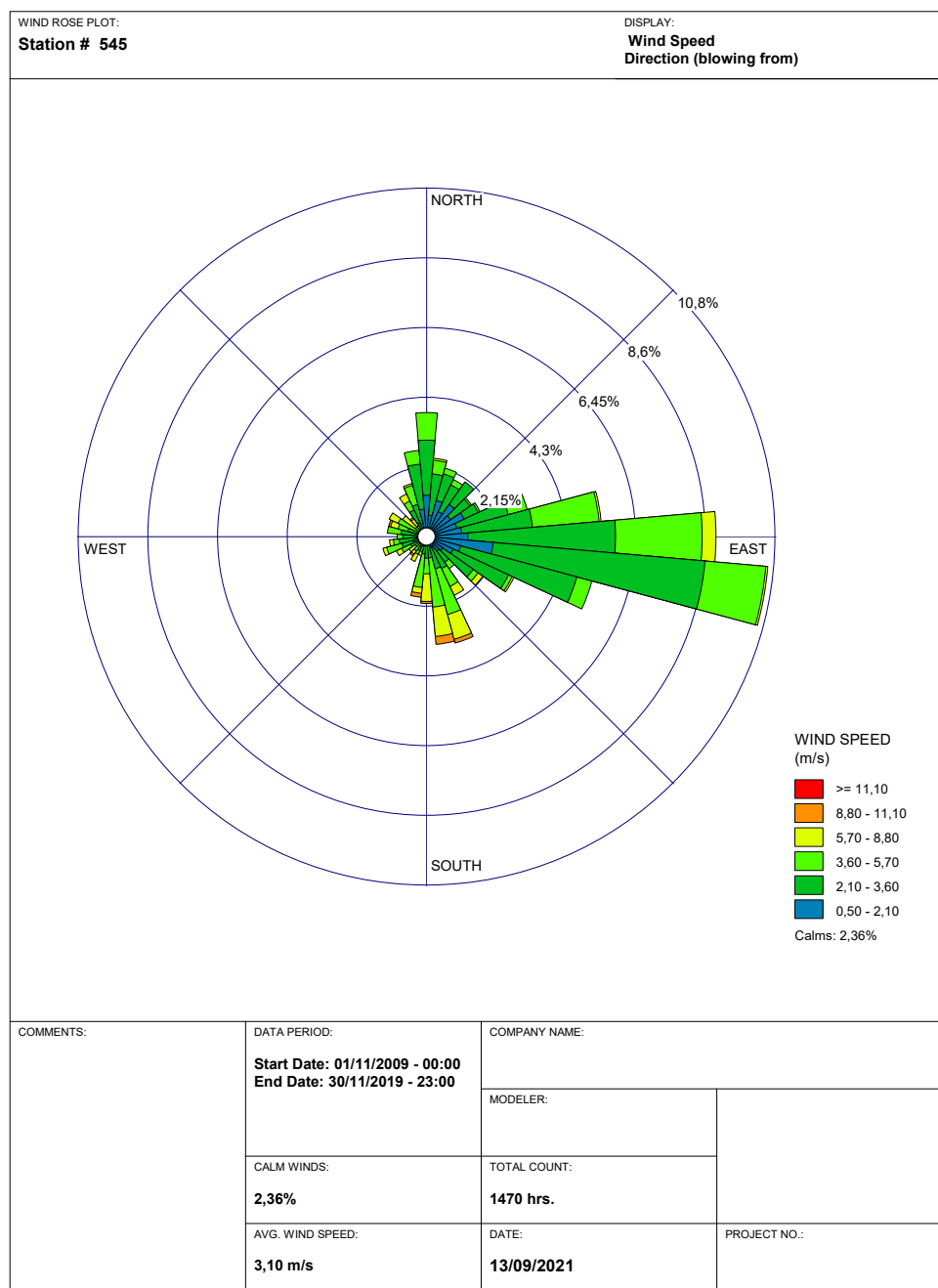
Outubro – 23h00 a 03h00



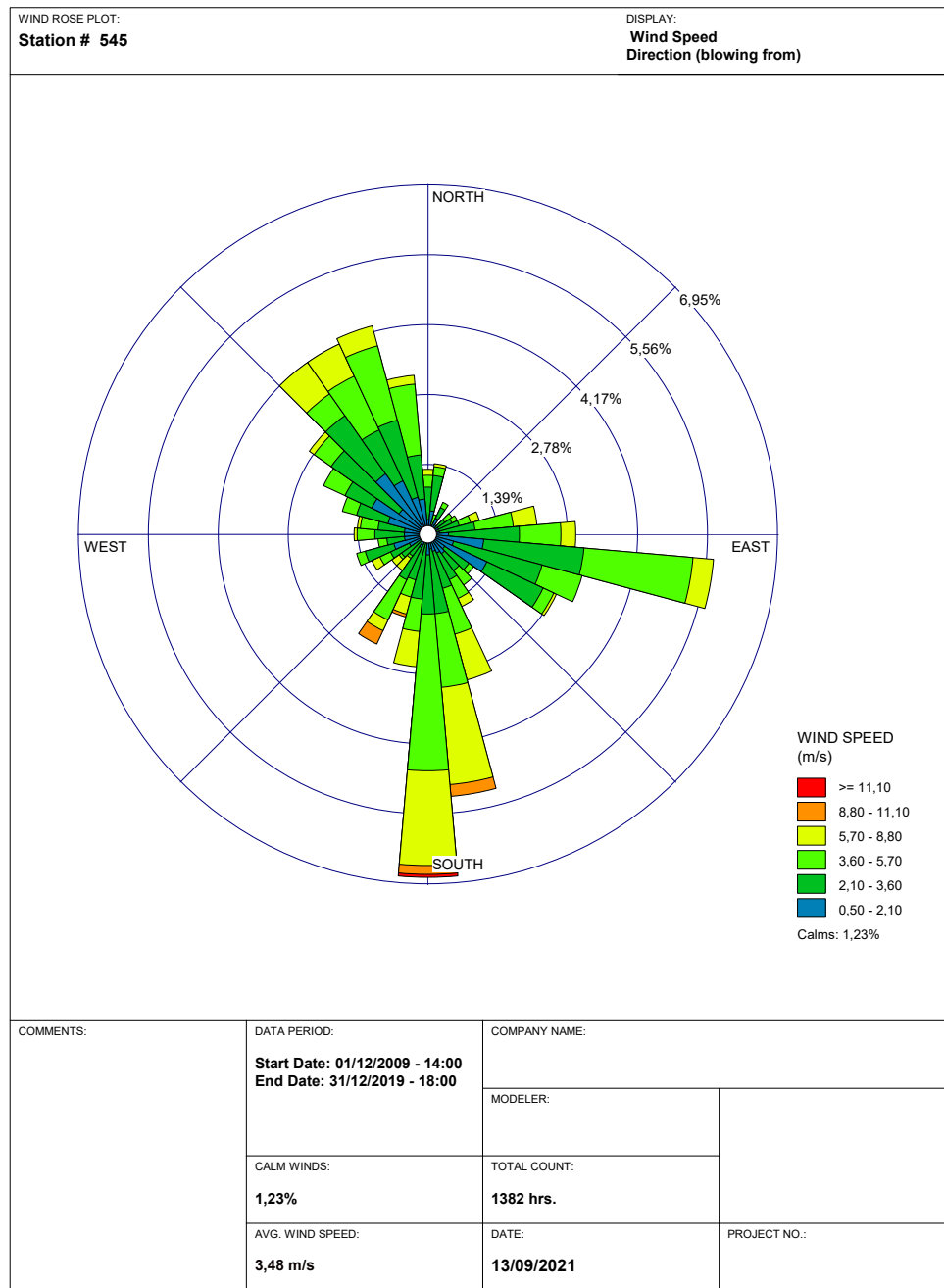
Novembro – 14h00 a 18h00



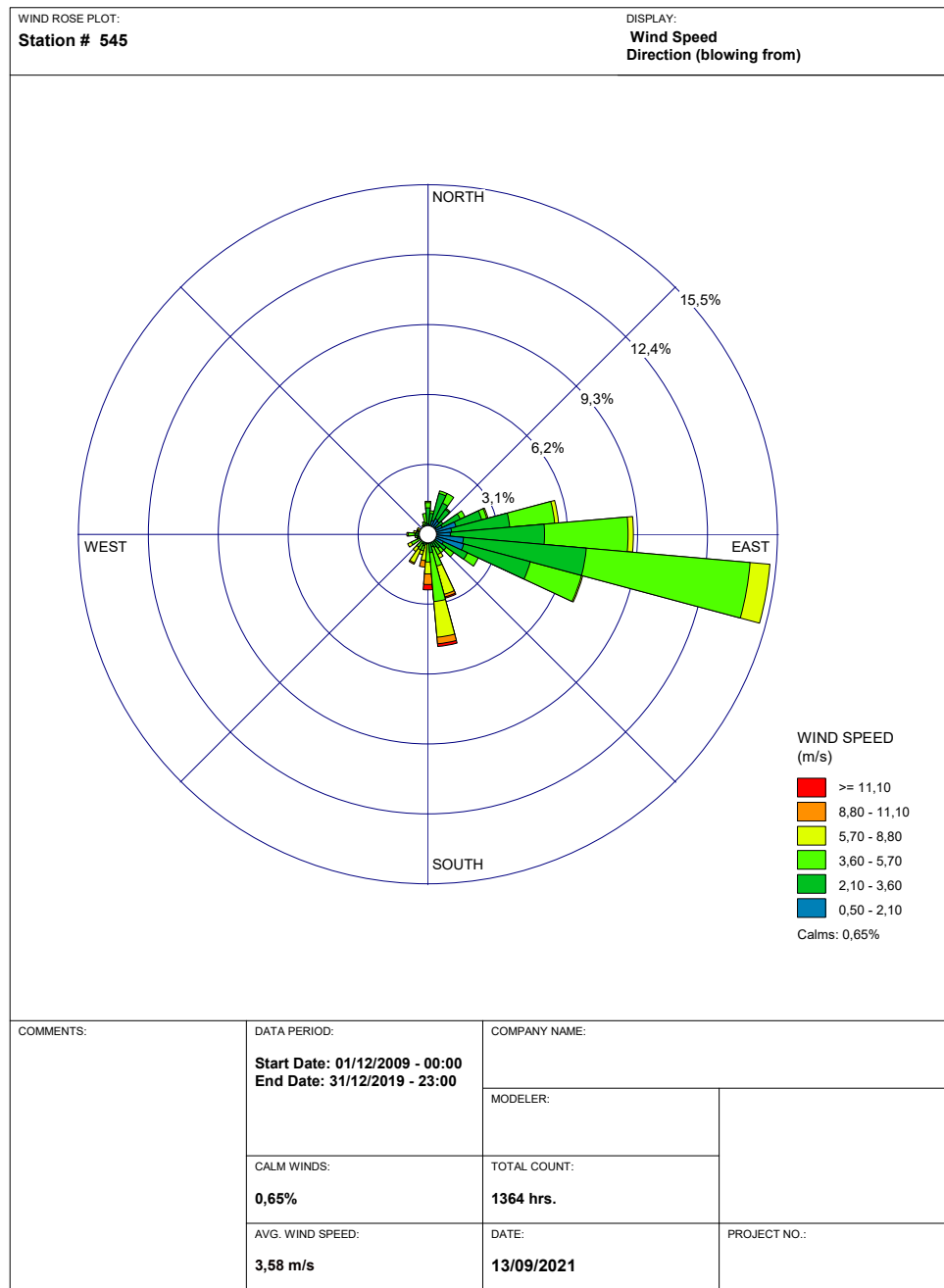
Novembro – 23h00 a 03h00



Dezembro – 14h00 a 18h00

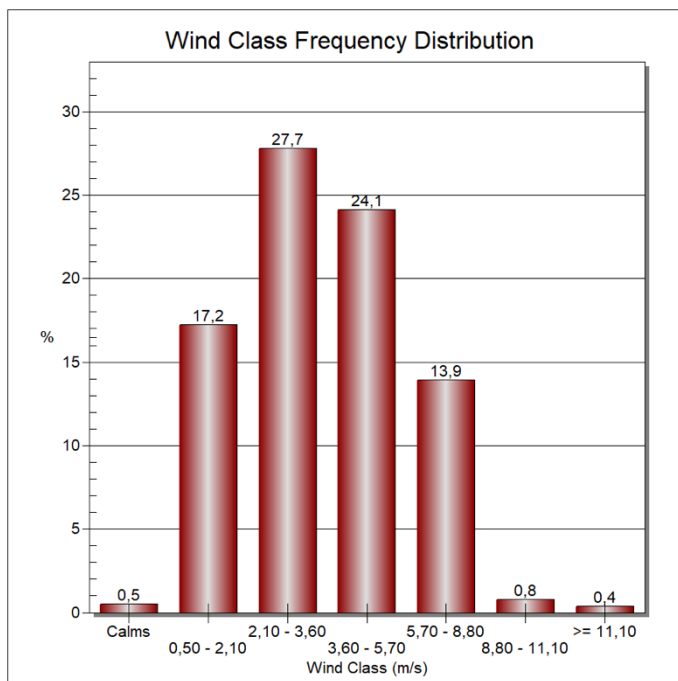


Dezembro – 23h00 a 03h00

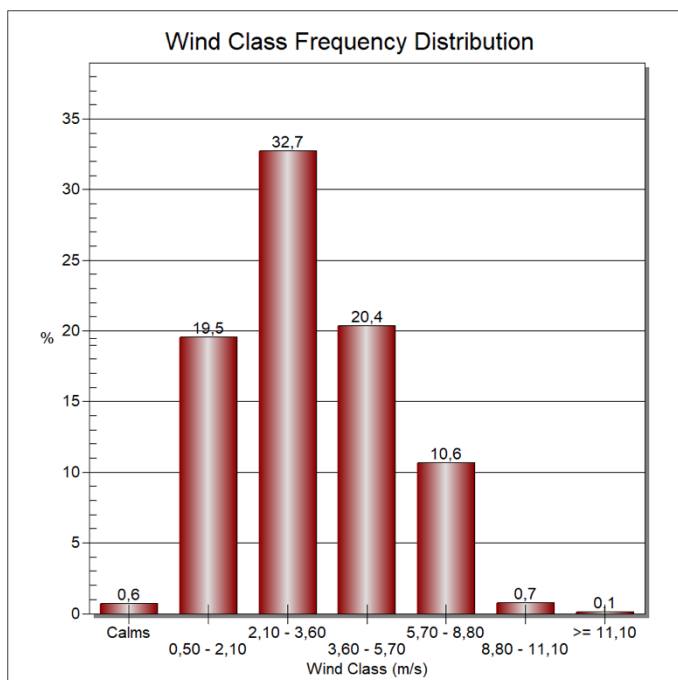


Anexo B – Frequências de velocidade do vento

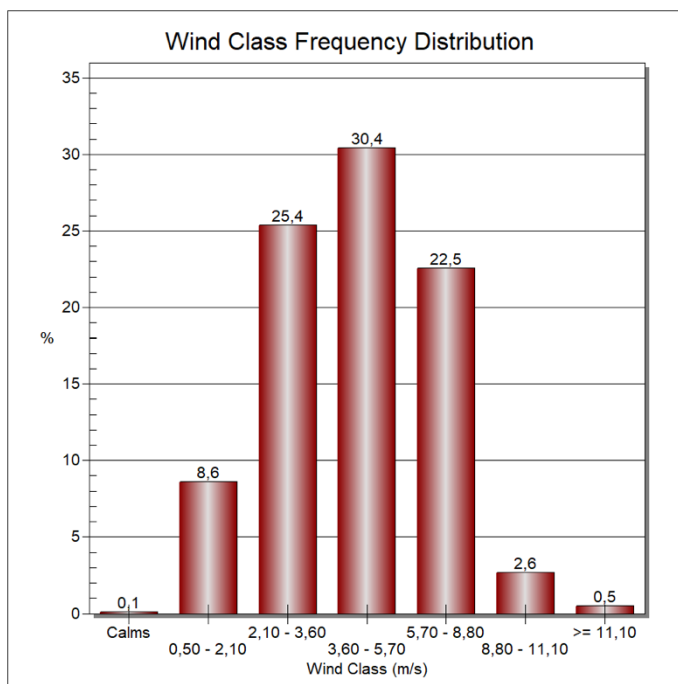
Janeiro – 14h00 a 18h00



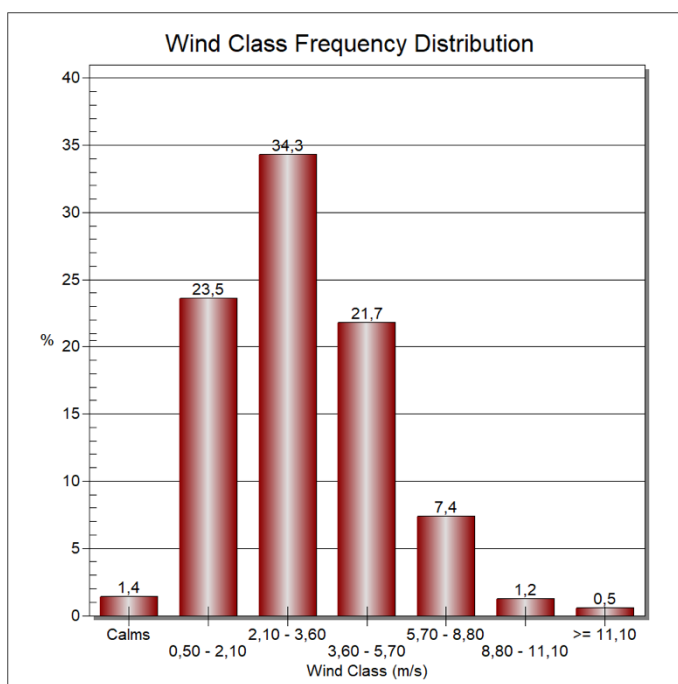
Janeiro – 23h00 a 03h00



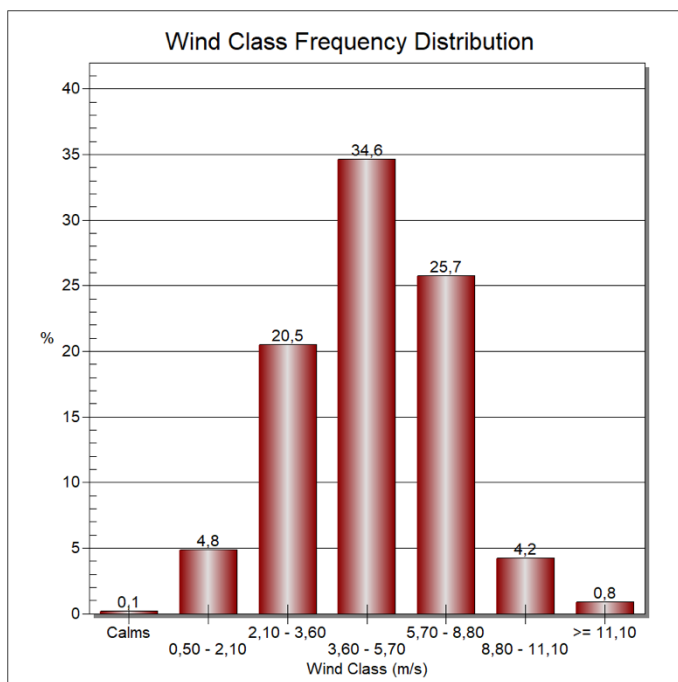
Fevereiro – 14h00 a 18h00



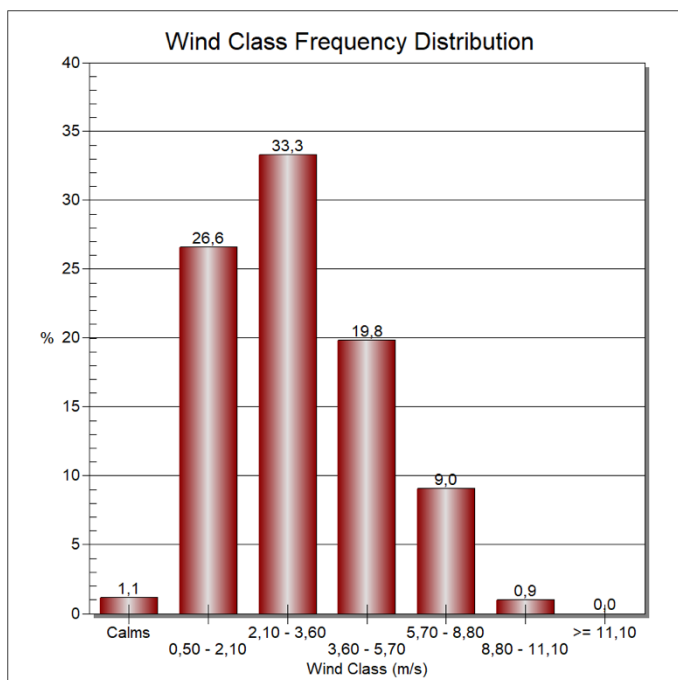
Fevereiro – 23h00 a 03h00



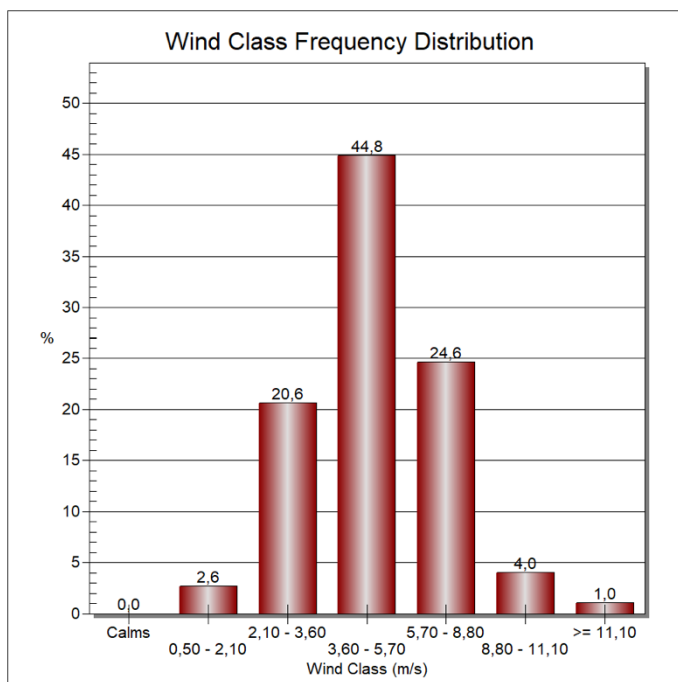
Março – 14h00 a 18h00



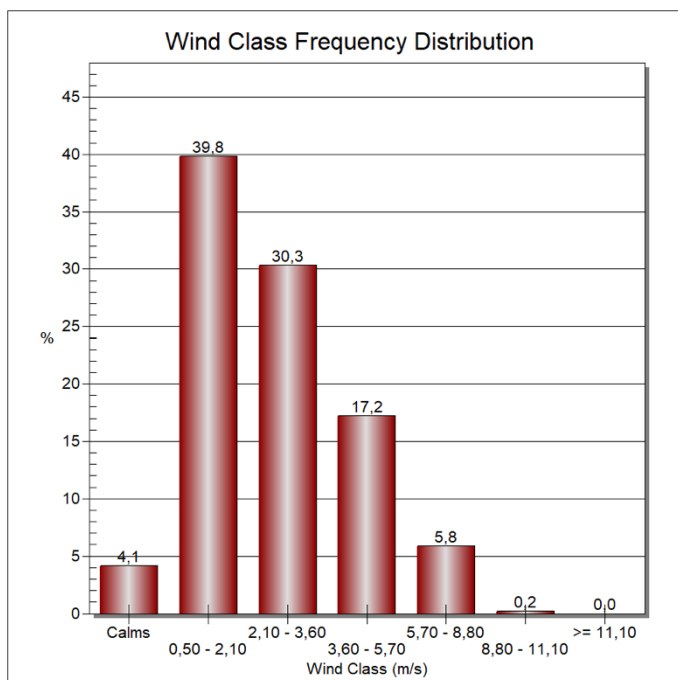
Março – 23h00 a 03h00



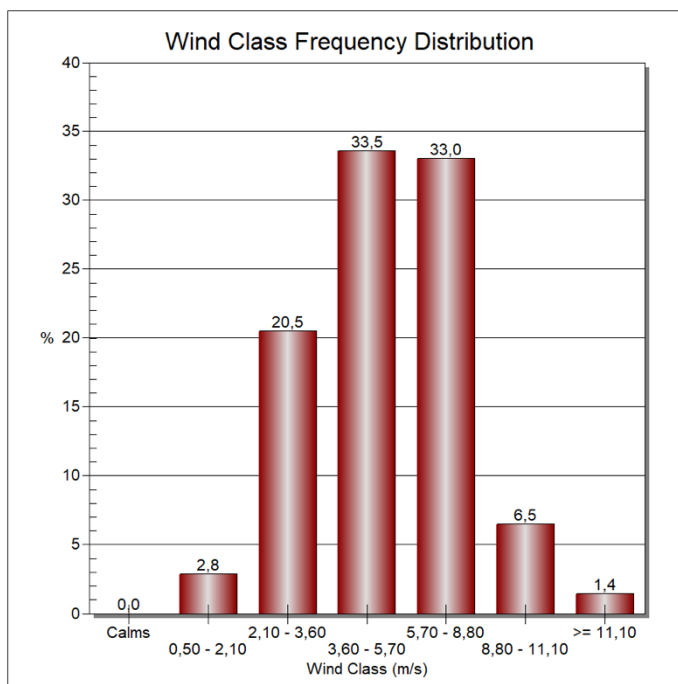
Abril – 14h00 a 18h00



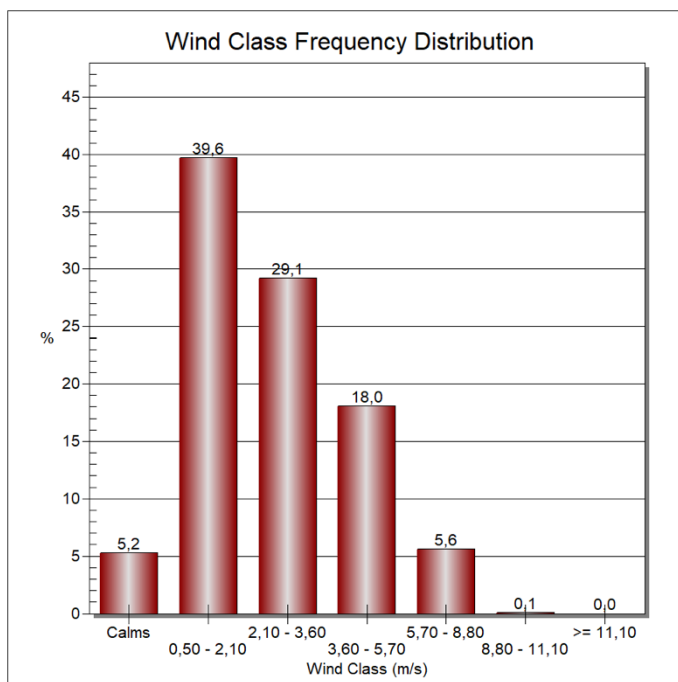
Abril – 23h00 a 03h00



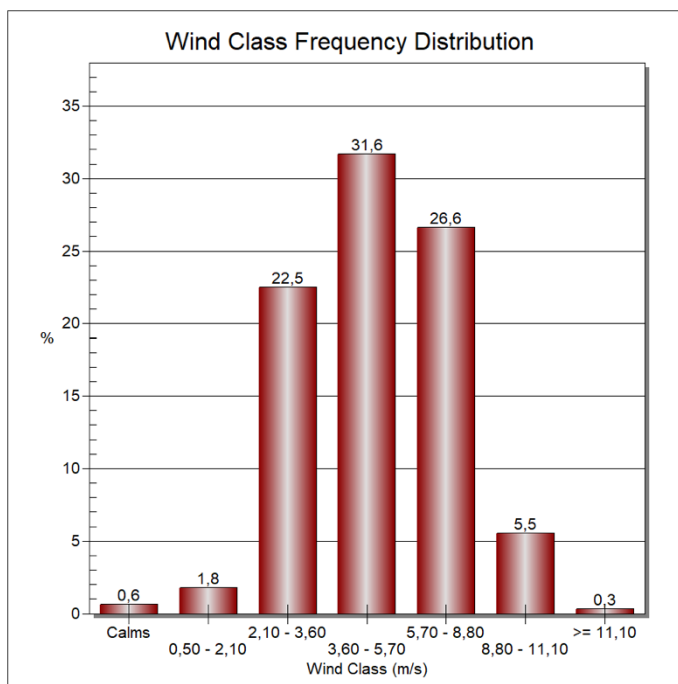
Maio – 14h00 a 18h00



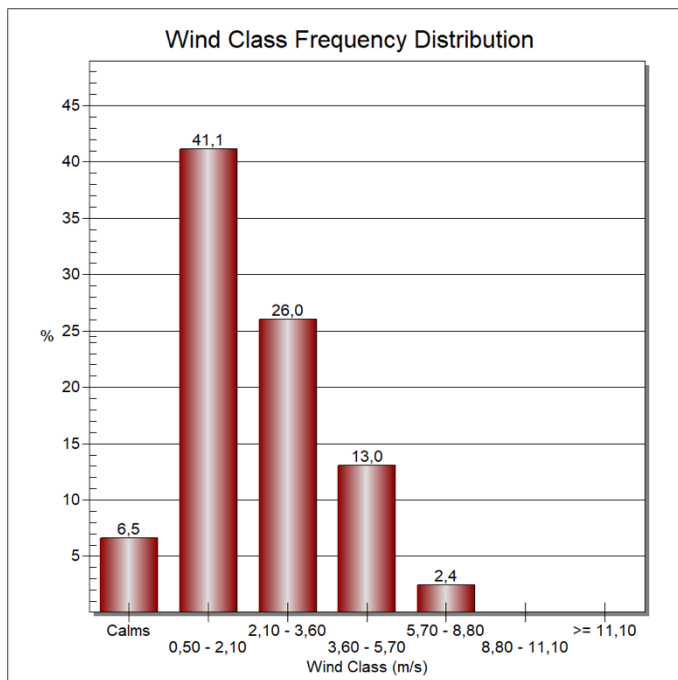
Maio – 23h00 a 03h00



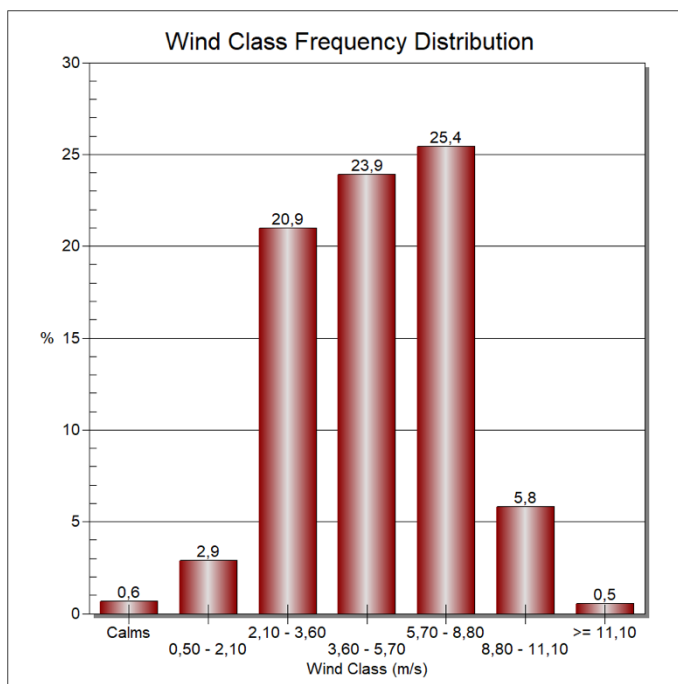
Junho – 14h00 a 18h00



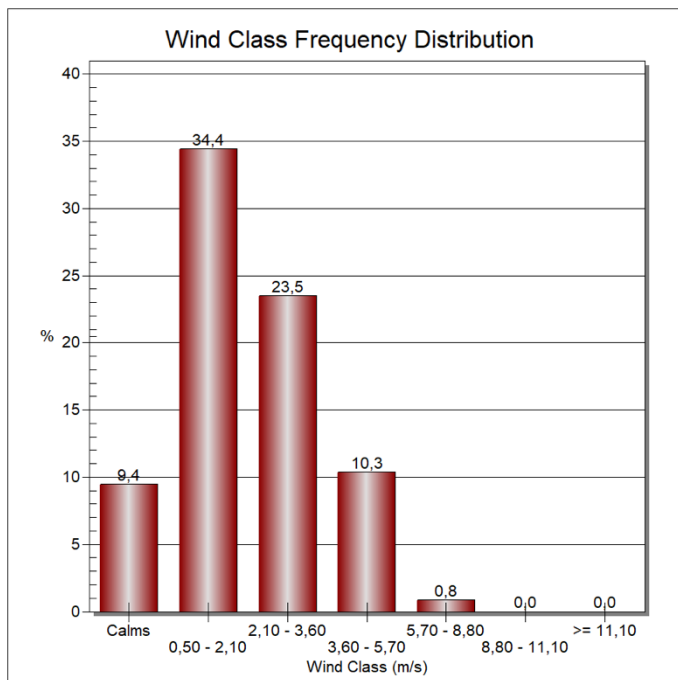
Junho – 23h00 a 03h00



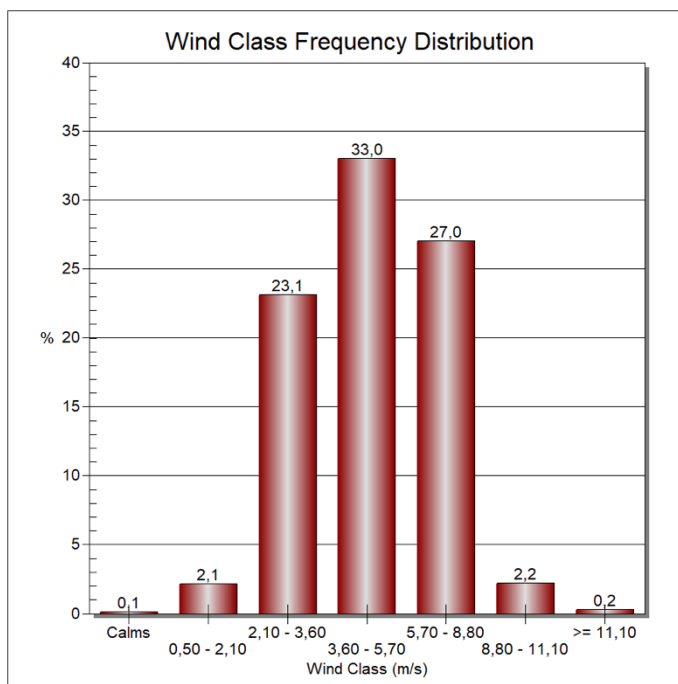
Julho – 14h00 a 18h00



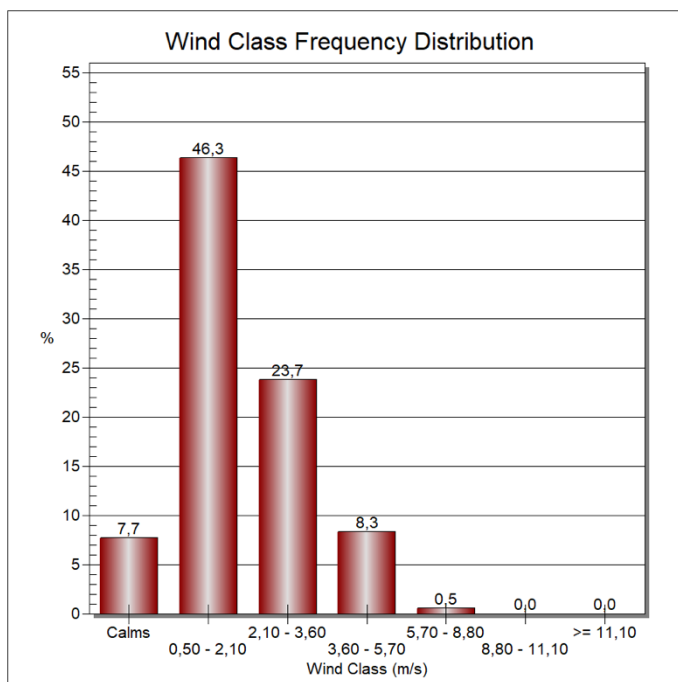
Julho– 23h00 a 03h00



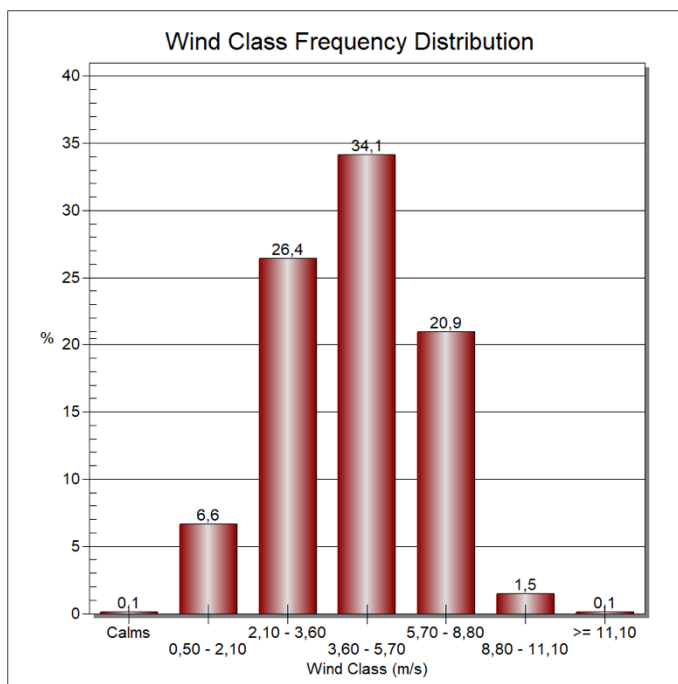
Agosto – 14h00 a 18h00



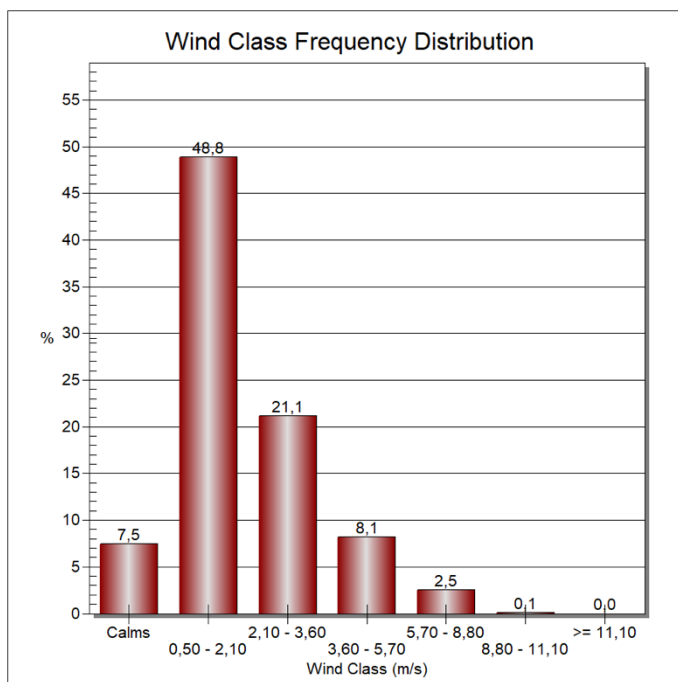
Agosto– 23h00 a 03h00



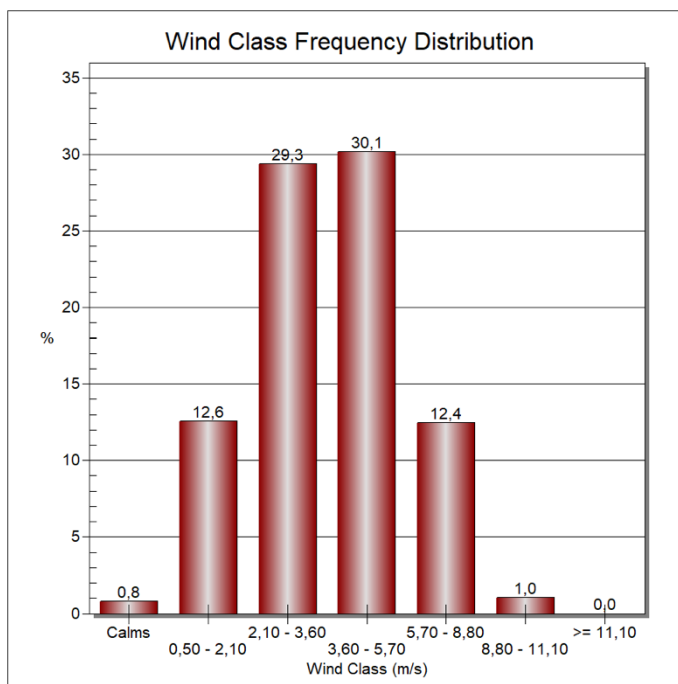
Setembro – 14h00 a 18h00



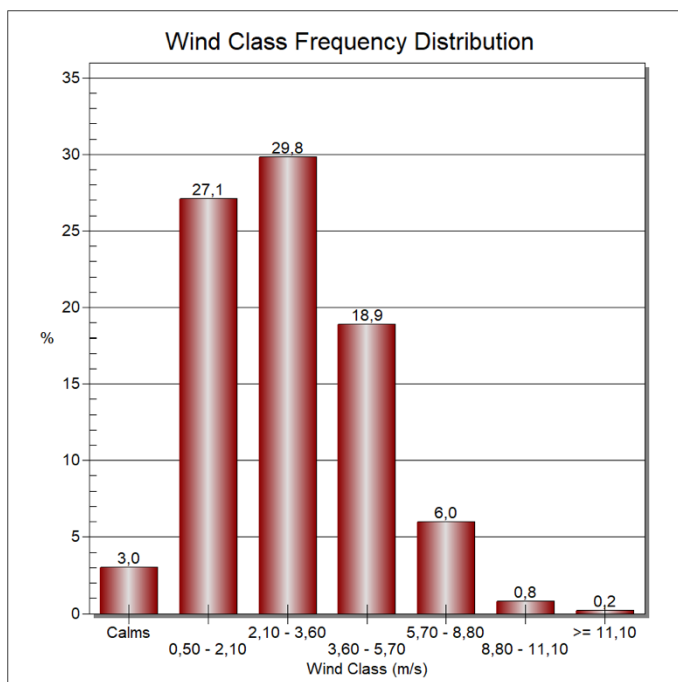
Setembro– 23h00 a 03h00



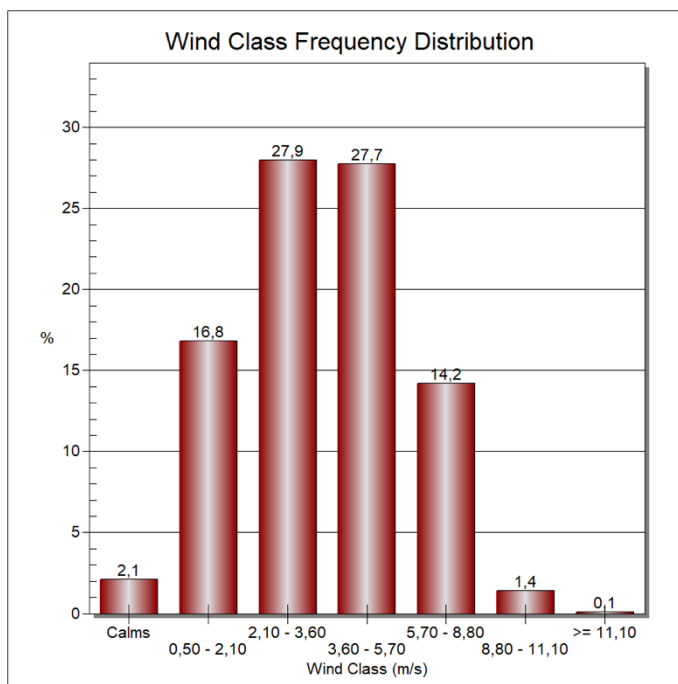
Outubro – 14h00 a 18h00



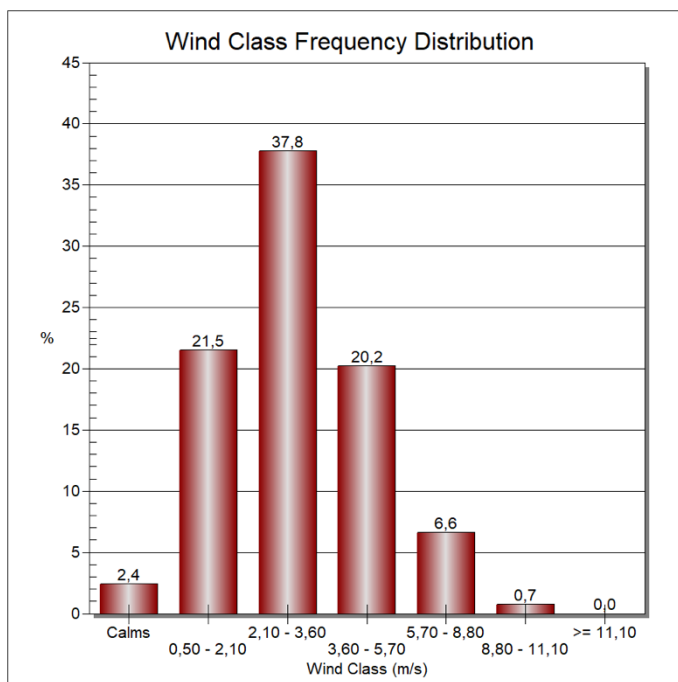
Outubro– 23h00 a 03h00



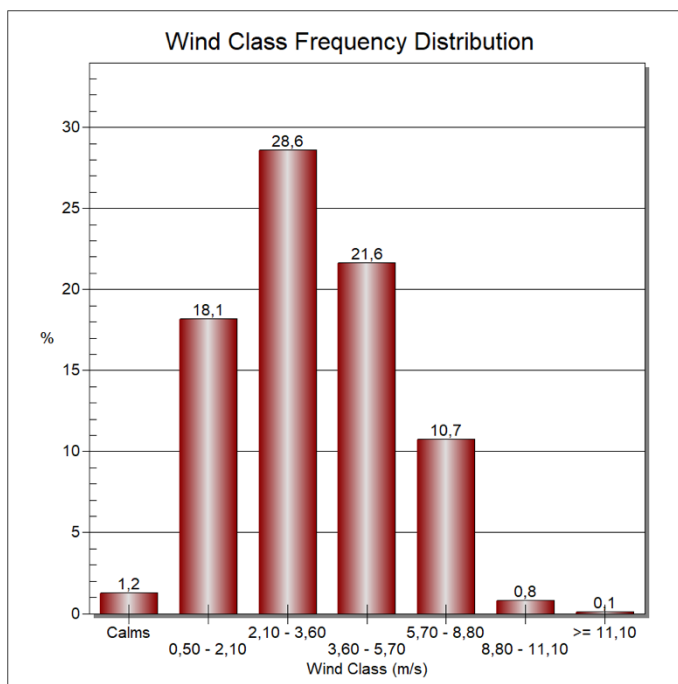
Novembro – 14h00 a 18h00



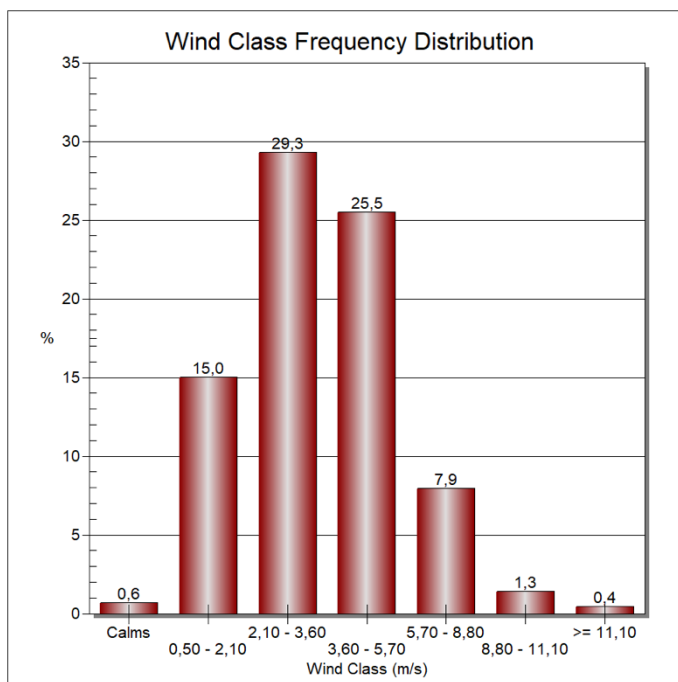
Novembro– 23h00 a 03h00



Dezembro – 14h00 a 18h00



Dezembro – 23h00 a 03h00



Anexo C – Folhas resumos de modelações (Aloha)

Cenários com metano líquido (UN 1972)

Janeiro – Tarde (14h – 18h) | UN 1972 (Metano)

Dados de Entrada Aloha

Dados do Local 41º 12,835 N 8º 38,473' O			
Designação do Local	Leça do Balio	Altitude aproximada (m)	67
Tipo de Edificado	Edifícios de um só piso	Envolvente do Edificado	Envolvente desabrigada
Matéria Perigosa			
Químico	Metano	UN 1972	
Condições Atmosféricas			
Velocidade do Vento (m/s)	Origem do Vento	Altura da Medição (m)	Rugosidade do Solo
4,22	Noroeste	10 metros	Urbano ou Florestal
Coberto de Nuvens	Temperatura do ar (°C)	Classe de Estabilidade	Altura de Inversão
8 décimas	12,46	C	Não aplicável
Humidade relativa (%)	Renovações de ar por hora		
68	0,57		
Fonte de libertação			
Cenários de Pool Fire e BLEVE			
Diâmetro da Cisterna (m)	2,4	Comprimento da Cisterna (m)	12,0
Estado físico da matéria	Líquido	Temperatura da Matéria (°C)	-175
Massa (kg) de químico	18,000	Percentagem de ocupação da cisterna (%) – fase líquida	75
Dimensões da abertura (cm)	10 x 15	Tipo de Abertura	Retangular
Local de Fuga	Buraco	% da massa do tanque na bola de fogo	100

Janeiro – Noite (23h – 03h) | UN 1972 (Metano)

Dados de Entrada Aloha

Dados do Local 41º 12,835 N 8º 38,473' O			
Designação do Local	Leça do Balio	Altitude aproximada (m)	67
Tipo de Edificado	Edifícios de um só piso	Envolvente do Edificado	Envolvente desabrigada
Matéria Perigosa			
Químico	Metano	UN 1972	
Condições Atmosféricas			
Velocidade do Vento (m/s)	Origem do Vento	Altura da Medição (m)	Rugosidade do Solo
3,53	Este	10 metros	Urbano ou Florestal
Coberto de Nuvens	Temperatura do ar (°C)	Classe de Estabilidade	Altura de Inversão
8 décimas	8,87	D	Não aplicável
Humidade relativa (%)	Renovações de ar por hora		
79	0,52		
Fonte de libertação			
Cenários de Pool Fire e BLEVE			
Diâmetro da Cisterna (m)	2,4	Comprimento da Cisterna (m)	12,0
Estado físico da matéria	Líquido	Temperatura da Matéria (°C)	-175
Massa (kg) de químico	18,000	Percentagem de ocupação da cisterna (%) – fase líquida	75
Dimensões da abertura (cm)	10 x 15	Tipo de Abertura	Retangular
Local de Fuga	Buraco	% da massa do tanque na bola de fogo	100

Fevereiro – Tarde (14h – 18h) | UN 1972 (Metano)

Dados de Entrada Aloha

Dados do Local 41º 12,835 N 8º 38,473' O			
Designação do Local	Leça do Balio	Altitude aproximada (m)	67
Tipo de Edificado	Edifícios de um só piso	Envolvente do Edificado	Envolvente desabrigada
Matéria Perigosa			
Químico	Metano	UN 1972	
Condições Atmosféricas			
Velocidade do Vento (m/s)	Origem do Vento	Altura da Medição (m)	Rugosidade do Solo
4,65	Noroeste	10 metros	Urbano ou Florestal
Coberto de Nuvens	Temperatura do ar (°C)	Classe de Estabilidade	Altura de Inversão
6 décimas	13,26	C	Não aplicável
Humidade relativa (%)	Renovações de ar por hora		
61	0,61		
Fonte de libertação			
Cenários de Pool Fire e BLEVE			
Diâmetro da Cisterna (m)	2,4	Comprimento da Cisterna (m)	12,0
Estado físico da matéria	Líquido	Temperatura da Matéria (°C)	-175
Massa (kg) de químico	18,000	Percentagem de ocupação da cisterna (%) – fase líquida	75
Dimensões da abertura (cm)	10 x 15	Tipo de Abertura	Retangular
Local de Fuga	Buraco	% da massa do tanque na bola de fogo	100

Fevereiro – Noite (23h – 03h) | UN 1972 (Metano)

Dados de Entrada Aloha

Dados do Local 41º 12,835 N 8º 38,473' O			
Designação do Local	Leça do Balio	Altitude aproximada (m)	67
Tipo de Edificado	Edifícios de um só piso	Envolvente do Edificado	Envolvente desabrigada
Matéria Perigosa			
Químico	Metano	UN 1972	
Condições Atmosféricas			
Velocidade do Vento (m/s)	Origem do Vento	Altura da Medição (m)	Rugosidade do Solo
3,37	Este	10 metros	Urbano ou Florestal
Coberto de Nuvens	Temperatura do ar (°C)	Classe de Estabilidade	Altura de Inversão
4 décimas	8,66	D	Não aplicável
Humidade relativa (%)	Renovações de ar por hora		
76	0,51		
Fonte de libertação			
Cenários de Pool Fire e BLEVE			
Diâmetro da Cisterna (m)	2,4	Comprimento da Cisterna (m)	12,0
Estado físico da matéria	Líquido	Temperatura da Matéria (°C)	-175
Massa (kg) de químico	18,000	Percentagem de ocupação da cisterna (%) – fase líquida	75
Dimensões da abertura (cm)	10 x 15	Tipo de Abertura	Retangular
Local de Fuga	Buraco	% da massa do tanque na bola de fogo	100

Março – Tarde (14h – 18h) | UN 1972 (Metano)

Dados de Entrada Aloha

Dados do Local 41º 12,835 N 8º 38,473’ O			
Designação do Local	Leça do Balio	Altitude aproximada (m)	67
Tipo de Edificado	Edifícios de um só piso	Envolvente do Edificado	Envolvente desabrigada
Matéria Perigosa			
Químico	Metano	UN 1972	
Condições Atmosféricas			
Velocidade do Vento (m/s)	Origem do Vento	Altura da Medição (m)	Rugosidade do Solo
5,14	Noroeste	10 metros	Urbano ou Florestal
Coberto de Nuvens	Temperatura do ar (ºC)	Classe de Estabilidade	Altura de Inversão
5 décimas	14,85	D	Não aplicável
Humidade relativa (%)	Renovações de ar por hora		
59	0,62		
Fonte de libertação			
Cenários de Pool Fire e BLEVE			
Diâmetro da Cisterna (m)	2,4	Comprimento da Cisterna (m)	12,0
Estado físico da matéria	Líquido	Temperatura da Matéria (ºC)	-175
Massa (kg) de químico	18,000	Percentagem de ocupação da cisterna (%) – fase líquida	75
Dimensões da abertura (cm)	10 x 15	Tipo de Abertura	Retangular
Local de Fuga	Buraco	% da massa do tanque na bola de fogo	100

Março – Noite (23h – 03h) | UN 1972 (Metano)

Dados de Entrada Aloha

Dados do Local 41º 12,835 N 8º 38,473' O			
Designação do Local	Leça do Balio	Altitude aproximada (m)	67
Tipo de Edificado	Edifícios de um só piso	Envolvente do Edificado	Envolvente desabrigada
Matéria Perigosa			
Químico	Metano	UN 1972	
Condições Atmosféricas			
Velocidade do Vento (m/s)	Origem do Vento	Altura da Medição (m)	Rugosidade do Solo
3,26	Este	10 metros	Urbano ou Florestal
Coberto de Nuvens	Temperatura do ar (°C)	Classe de Estabilidade	Altura de Inversão
5 décimas	10,68	D	Não aplicável
Humidade relativa (%)	Renovações de ar por hora		
73	0,41		
Fonte de libertação			
Cenários de Pool Fire e BLEVE			
Diâmetro da Cisterna (m)	2,4	Comprimento da Cisterna (m)	12,0
Estado físico da matéria	Líquido	Temperatura da Matéria (°C)	-175
Massa (kg) de químico	18,000	Percentagem de ocupação da cisterna (%) – fase líquida	75
Dimensões da abertura (cm)	10 x 15	Tipo de Abertura	Retangular
Local de Fuga	Buraco	% da massa do tanque na bola de fogo	100

Abril – Tarde (14h – 18h) | UN 1972 (Metano)

Dados de Entrada Aloha

Dados do Local 41º 12,835 N 8º 38,473' O			
Designação do Local	Leça do Balio	Altitude aproximada (m)	67
Tipo de Edificado	Edifícios de um só piso	Envolvente do Edificado	Envolvente desabrigada
Matéria Perigosa			
Químico	Metano	UN 1972	
Condições Atmosféricas			
Velocidade do Vento (m/s)	Origem do Vento	Altura da Medição (m)	Rugosidade do Solo
5,17	Noroeste	10 metros	Urbano ou Florestal
Coberto de Nuvens	Temperatura do ar (°C)	Classe de Estabilidade	Altura de Inversão
3 décimas	16,50	C	Não aplicável
Humidade relativa (%)	Renovações de ar por hora		
60	0,61		
Fonte de libertação			
Cenários de Pool Fire e BLEVE			
Diâmetro da Cisterna (m)	2,4	Comprimento da Cisterna (m)	12,0
Estado físico da matéria	Líquido	Temperatura da Matéria (°C)	-175
Massa (kg) de químico	18,000	Percentagem de ocupação da cisterna (%) – fase líquida	75
Dimensões da abertura (cm)	10 x 15	Tipo de Abertura	Retangular
Local de Fuga	Buraco	% da massa do tanque na bola de fogo	100

Abril – Noite (23h – 03h) | UN 1972 (Metano)

Dados de Entrada Aloha

Dados do Local 41º 12,835 N 8º 38,473' O			
Designação do Local	Leça do Balio	Altitude aproximada (m)	67
Tipo de Edificado	Edifícios de um só piso	Envolvente do Edificado	Envolvente desabrigada
Matéria Perigosa			
Químico	Metano	UN 1972	
Condições Atmosféricas			
Velocidade do Vento (m/s)	Origem do Vento	Altura da Medição (m)	Rugosidade do Solo
2,70	Lés-Nordeste	10 metros	Urbano ou Florestal
Coberto de Nuvens	Temperatura do ar (°C)	Classe de Estabilidade	Altura de Inversão
5 décimas	12,12	E	Não aplicável
Humidade relativa (%)	Renovações de ar por hora		
77	0,61		
Fonte de libertação			
Cenários de Pool Fire e BLEVE			
Diâmetro da Cisterna (m)	2,4	Comprimento da Cisterna (m)	12,0
Estado físico da matéria	Líquido	Temperatura da Matéria (°C)	-175
Massa (kg) de químico	18,000	Percentagem de ocupação da cisterna (%) – fase líquida	75
Dimensões da abertura (cm)	10 x 15	Tipo de Abertura	Retangular
Local de Fuga	Buraco	% da massa do tanque na bola de fogo	100

Maio – Tarde (14h – 18h) | UN 1972 (Metano)

Dados de Entrada Aloha

Dados do Local 41º 12,835 N 8º 38,473' O			
Designação do Local	Leça do Balio	Altitude aproximada (m)	67
Tipo de Edificado	Edifícios de um só piso	Envolvente do Edificado	Envolvente desabrigada
Matéria Perigosa			
Químico	Metano	UN 1972	
Condições Atmosféricas			
Velocidade do Vento (m/s)	Origem do Vento	Altura da Medição (m)	Rugosidade do Solo
5,56	Noroeste	10 metros	Urbano ou Florestal
Coberto de Nuvens	Temperatura do ar (°C)	Classe de Estabilidade	Altura de Inversão
1 décima	18,88	C	Não aplicável
Humidade relativa (%)	Renovações de ar por hora		
60	0,64		
Fonte de libertação			
Cenários de Pool Fire e BLEVE			
Diâmetro da Cisterna (m)	2,4	Comprimento da Cisterna (m)	12,0
Estado físico da matéria	Líquido	Temperatura da Matéria (°C)	-175
Massa (kg) de químico	18,000	Percentagem de ocupação da cisterna (%) – fase líquida	75
Dimensões da abertura (cm)	10 x 15	Tipo de Abertura	Retangular
Local de Fuga	Buraco	% da massa do tanque na bola de fogo	100

Maio – Noite (23h – 03h) | UN 1972 (Metano)

Dados de Entrada Aloha

Dados do Local 41º 12,835 N 8º 38,473' O			
Designação do Local	Leça do Balio	Altitude aproximada (m)	67
Tipo de Edificado	Edifícios de um só piso	Envolvente do Edificado	Envolvente desabrigada
Matéria Perigosa			
Químico	Metano	UN 1972	
Condições Atmosféricas			
Velocidade do Vento (m/s)	Origem do Vento	Altura da Medição (m)	Rugosidade do Solo
2,67	Norte	10 metros	Urbano ou Florestal
Coberto de Nuvens	Temperatura do ar (°C)	Classe de Estabilidade	Altura de Inversão
5 décimas	14,14	E	Não aplicável
Humidade relativa (%)	Renovações de ar por hora		
76	0,64		
Fonte de libertação			
Cenários de Pool Fire e BLEVE			
Diâmetro da Cisterna (m)	2,4	Comprimento da Cisterna (m)	12,0
Estado físico da matéria	Líquido	Temperatura da Matéria (°C)	-175
Massa (kg) de químico	18,000	Percentagem de ocupação da cisterna (%) – fase líquida	75
Dimensões da abertura (cm)	10 x 15	Tipo de Abertura	Retangular
Local de Fuga	Buraco	% da massa do tanque na bola de fogo	100

Junho – Tarde (14h – 18h) | UN 1972 (Metano)

Dados de Entrada Aloha

Dados do Local 41º 12,835 N 8º 38,473’ O			
Designação do Local	Leça do Balio	Altitude aproximada (m)	67
Tipo de Edificado	Edifícios de um só piso	Envolvente do Edificado	Envolvente desabrigada
Matéria Perigosa			
Químico	Metano	UN 1972	
Condições Atmosféricas			
Velocidade do Vento (m/s)	Origem do Vento	Altura da Medição (m)	Rugosidade do Solo
5,24	Noroeste	10 metros	Urbano ou Florestal
Coberto de Nuvens	Temperatura do ar (°C)	Classe de Estabilidade	Altura de Inversão
1 décima	20,71	C	Não aplicável
Humidade relativa (%)	Renovações de ar por hora		
61	0,60		
Fonte de libertação			
Cenários de Pool Fire e BLEVE			
Diâmetro da Cisterna (m)	2,4	Comprimento da Cisterna (m)	12,0
Estado físico da matéria	Líquido	Temperatura da Matéria (°C)	-175
Massa (kg) de químico	18,000	Percentagem de ocupação da cisterna (%) – fase líquida	75
Dimensões da abertura (cm)	10 x 15	Tipo de Abertura	Retangular
Local de Fuga	Buraco	% da massa do tanque na bola de fogo	100

Junho – Noite (23h – 03h) | UN 1972 (Metano)

Dados de Entrada Aloha

Dados do Local 41º 12,835 N 8º 38,473' O			
Designação do Local	Leça do Balio	Altitude aproximada (m)	67
Tipo de Edificado	Edifícios de um só piso	Envolvente do Edificado	Envolvente desabrigada
Matéria Perigosa			
Químico	Metano	UN 1972	
Condições Atmosféricas			
Velocidade do Vento (m/s)	Origem do Vento	Altura da Medição (m)	Rugosidade do Solo
2,14	Nor-Noroeste	10 metros	Urbano ou Florestal
Coberto de Nuvens	Temperatura do ar (°C)	Classe de Estabilidade	Altura de Inversão
3 décimas	16,04	F	Não aplicável
Humidade relativa (%)	Renovações de ar por hora		
79	0,21		
Fonte de libertação			
Cenários de Pool Fire e BLEVE			
Diâmetro da Cisterna (m)	2,4	Comprimento da Cisterna (m)	12,0
Estado físico da matéria	Líquido	Temperatura da Matéria (°C)	-175
Massa (kg) de químico	18,000	Percentagem de ocupação da cisterna (%) – fase líquida	75
Dimensões da abertura (cm)	10 x 15	Tipo de Abertura	Retangular
Local de Fuga	Buraco	% da massa do tanque na bola de fogo	100

Julho – Tarde (14h – 18h) | UN 1972 (Metano)

Dados de Entrada Aloha

Dados do Local 41º 12,835 N 8º 38,473' O			
Designação do Local	Leça do Balio	Altitude aproximada (m)	67
Tipo de Edificado	Edifícios de um só piso	Envolvente do Edificado	Envolvente desabrigada
Matéria Perigosa			
Químico	Metano	UN 1972	
Condições Atmosféricas			
Velocidade do Vento (m/s)	Origem do Vento	Altura da Medição (m)	Rugosidade do Solo
5,30	Noroeste	10 metros	Urbano ou Florestal
Coberto de Nuvens	Temperatura do ar (°C)	Classe de Estabilidade	Altura de Inversão
1 décima	22,41	C	Não aplicável
Humidade relativa (%)	Renovações de ar por hora		
61	0,65		
Fonte de libertação			
Cenários de Pool Fire e BLEVE			
Diâmetro da Cisterna (m)	2,4	Comprimento da Cisterna (m)	12,0
Estado físico da matéria	Líquido	Temperatura da Matéria (°C)	-175
Massa (kg) de químico	18,000	Percentagem de ocupação da cisterna (%) – fase líquida	75
Dimensões da abertura (cm)	10 x 15	Tipo de Abertura	Retangular
Local de Fuga	Buraco	% da massa do tanque na bola de fogo	100

Julho – Noite (23h – 03h) | UN 1972 (Metano)

Dados de Entrada Aloha

Dados do Local 41º 12,835 N 8º 38,473’ O			
Designação do Local	Leça do Balio	Altitude aproximada (m)	67
Tipo de Edificado	Edifícios de um só piso	Envolvente do Edificado	Envolvente desabrigada
Matéria Perigosa			
Químico	Metano	UN 1972	
Condições Atmosféricas			
Velocidade do Vento (m/s)	Origem do Vento	Altura da Medição (m)	Rugosidade do Solo
2,14	Nor-Noroeste	10 metros	Urbano ou Florestal
Coberto de Nuvens	Temperatura do ar (°C)	Classe de Estabilidade	Altura de Inversão
1 décima	17,19	F	Não aplicável
Humidade relativa (%)	Renovações de ar por hora		
82	0,25		
Fonte de libertação			
Cenários de Pool Fire e BLEVE			
Diâmetro da Cisterna (m)	2,4	Comprimento da Cisterna (m)	12,0
Estado físico da matéria	Líquido	Temperatura da Matéria (°C)	-175
Massa (kg) de químico	18,000	Percentagem de ocupação da cisterna (%) – fase líquida	75
Dimensões da abertura (cm)	10 x 15	Tipo de Abertura	Retangular
Local de Fuga	Buraco	% da massa do tanque na bola de fogo	100

Agosto – Tarde (14h – 18h) | UN 1972 (Metano)

Dados de Entrada Aloha

Dados do Local 41º 12,835 N 8º 38,473' O			
Designação do Local	Leça do Balio	Altitude aproximada (m)	67
Tipo de Edificado	Edifícios de um só piso	Envolvente do Edificado	Envolvente desabrigada
Matéria Perigosa			
Químico	Metano	UN 1972	
Condições Atmosféricas			
Velocidade do Vento (m/s)	Origem do Vento	Altura da Medição (m)	Rugosidade do Solo
5,05	Noroeste	10 metros	Urbano ou Florestal
Coberto de Nuvens	Temperatura do ar (°C)	Classe de Estabilidade	Altura de Inversão
2 décimas	22,80	C	Não aplicável
Humidade relativa (%)	Renovações de ar por hora		
60	0,60		
Fonte de libertação			
Cenários de Pool Fire e BLEVE			
Diâmetro da Cisterna (m)	2,4	Comprimento da Cisterna (m)	12,0
Estado físico da matéria	Líquido	Temperatura da Matéria (°C)	-175
Massa (kg) de químico	18,000	Percentagem de ocupação da cisterna (%) – fase líquida	75
Dimensões da abertura (cm)	10 x 15	Tipo de Abertura	Retangular
Local de Fuga	Buraco	% da massa do tanque na bola de fogo	100

Agosto – Noite (23h – 03h) | UN 1972 (Metano)

Dados de Entrada Aloha

Dados do Local 41º 12,835 N 8º 38,473' O			
Designação do Local	Leça do Balio	Altitude aproximada (m)	67
Tipo de Edificado	Edifícios de um só piso	Envolvente do Edificado	Envolvente desabrigada
Matéria Perigosa			
Químico	Metano	UN 1972	
Condições Atmosféricas			
Velocidade do Vento (m/s)	Origem do Vento	Altura da Medição (m)	Rugosidade do Solo
2,64	Nor-Noroeste	10 metros	Urbano ou Florestal
Coberto de Nuvens	Temperatura do ar (°C)	Classe de Estabilidade	Altura de Inversão
2 décimas	17,44	F	Não aplicável
Humidade relativa (%)	Renovações de ar por hora		
82	0,29		
Fonte de libertação			
Cenários de Pool Fire e BLEVE			
Diâmetro da Cisterna (m)	2,4	Comprimento da Cisterna (m)	12,0
Estado físico da matéria	Líquido	Temperatura da Matéria (°C)	-175
Massa (kg) de químico	18,000	Percentagem de ocupação da cisterna (%) – fase líquida	75
Dimensões da abertura (cm)	10 x 15	Tipo de Abertura	Retangular
Local de Fuga	Buraco	% da massa do tanque na bola de fogo	100

Setembro – Tarde (14h – 18h) | UN 1972 (Metano)

Dados de Entrada Aloha

Dados do Local 41º 12,835 N 8º 38,473' O			
Designação do Local	Leça do Balio	Altitude aproximada (m)	67
Tipo de Edificado	Edifícios de um só piso	Envolvente do Edificado	Envolvente desabrigada
Matéria Perigosa			
Químico	Metano	UN 1972	
Condições Atmosféricas			
Velocidade do Vento (m/s)	Origem do Vento	Altura da Medição (m)	Rugosidade do Solo
4,58	Noroeste	10 metros	Urbano ou Florestal
Coberto de Nuvens	Temperatura do ar (°C)	Classe de Estabilidade	Altura de Inversão
4 décimas	22,35	B	Não aplicável
Humidade relativa (%)	Renovações de ar por hora		
59	0,56		
Fonte de libertação			
Cenários de Pool Fire e BLEVE			
Diâmetro da Cisterna (m)	2,4	Comprimento da Cisterna (m)	12,0
Estado físico da matéria	Líquido	Temperatura da Matéria (°C)	-175
Massa (kg) de químico	18,000	Percentagem de ocupação da cisterna (%) – fase líquida	75
Dimensões da abertura (cm)	10 x 15	Tipo de Abertura	Retangular
Local de Fuga	Buraco	% da massa do tanque na bola de fogo	100

Setembro – Noite (23h – 03h) | UN 1972 (Metano)

Dados de Entrada Aloha

Dados do Local 41º 12,835 N 8º 38,473' O			
Designação do Local	Leça do Balio	Altitude aproximada (m)	67
Tipo de Edificado	Edifícios de um só piso	Envolvente do Edificado	Envolvente desabrigada
Matéria Perigosa			
Químico	Metano	UN 1972	
Condições Atmosféricas			
Velocidade do Vento (m/s)	Origem do Vento	Altura da Medição (m)	Rugosidade do Solo
2,07	Este	10 metros	Urbano ou Florestal
Coberto de Nuvens	Temperatura do ar (°C)	Classe de Estabilidade	Altura de Inversão
3 décimas	17,16	F	Não aplicável
Humidade relativa (%)	Renovações de ar por hora		
80	0,25		
Fonte de libertação			
Cenários de Pool Fire e BLEVE			
Diâmetro da Cisterna (m)	2,4	Comprimento da Cisterna (m)	12,0
Estado físico da matéria	Líquido	Temperatura da Matéria (°C)	-175
Massa (kg) de químico	18,000	Percentagem de ocupação da cisterna (%) – fase líquida	75
Dimensões da abertura (cm)	10 x 15	Tipo de Abertura	Retangular
Local de Fuga	Buraco	% da massa do tanque na bola de fogo	100

Outubro – Tarde (14h – 18h) | UN 1972 (Metano)

Dados de Entrada Aloha

Dados do Local 41º 12,835 N 8º 38,473' O			
Designação do Local	Leça do Balio	Altitude aproximada (m)	67
Tipo de Edificado	Edifícios de um só piso	Envolvente do Edificado	Envolvente desabrigada
Matéria Perigosa			
Químico	Metano	UN 1972	
Condições Atmosféricas			
Velocidade do Vento (m/s)	Origem do Vento	Altura da Medição (m)	Rugosidade do Solo
3,94	Sul	10 metros	Urbano ou Florestal
Coberto de Nuvens	Temperatura do ar (°C)	Classe de Estabilidade	Altura de Inversão
7 décimas	19,90	B	Não aplicável
Humidade relativa (%)	Renovações de ar por hora		
62	0,47		
Fonte de libertação			
Cenários de Pool Fire e BLEVE			
Diâmetro da Cisterna (m)	2,4	Comprimento da Cisterna (m)	12,0
Estado físico da matéria	Líquido	Temperatura da Matéria (°C)	-175
Massa (kg) de químico	18,000	Percentagem de ocupação da cisterna (%) – fase líquida	75
Dimensões da abertura (cm)	10 x 15	Tipo de Abertura	Retangular
Local de Fuga	Buraco	% da massa do tanque na bola de fogo	100

Outubro – Noite (23h – 03h) | UN 1972 (Metano)

Dados de Entrada Aloha

Dados do Local 41º 12,835 N 8º 38,473’ O			
Designação do Local	Leça do Balio	Altitude aproximada (m)	67
Tipo de Edificado	Edifícios de um só piso	Envolvente do Edificado	Envolvente desabrigada
Matéria Perigosa			
Químico	Metano	UN 1972	
Condições Atmosféricas			
Velocidade do Vento (m/s)	Origem do Vento	Altura da Medição (m)	Rugosidade do Solo
3,10	Este	10 metros	Urbano ou Florestal
Coberto de Nuvens	Temperatura do ar (ºC)	Classe de Estabilidade	Altura de Inversão
8 décimas	15,70	D	Não aplicável
Humidade relativa (%)	Renovações de ar por hora		
78	0,41		
Fonte de libertação			
Cenários de Pool Fire e BLEVE			
Diâmetro da Cisterna (m)	2,4	Comprimento da Cisterna (m)	12,0
Estado físico da matéria	Líquido	Temperatura da Matéria (ºC)	-175
Massa (kg) de químico	18,000	Percentagem de ocupação da cisterna (%) – fase líquida	75
Dimensões da abertura (cm)	10 x 15	Tipo de Abertura	Retangular
Local de Fuga	Buraco	% da massa do tanque na bola de fogo	100

Novembro – Tarde (14h – 18h) | UN 1972 (Metano)

Dados de Entrada Aloha

Dados do Local 41º 12,835 N 8º 38,473' O			
Designação do Local	Leça do Balio	Altitude aproximada (m)	67
Tipo de Edificado	Edifícios de um só piso	Envolvente do Edificado	Envolvente desabrigada
Matéria Perigosa			
Químico	Metano	UN 1972	
Condições Atmosféricas			
Velocidade do Vento (m/s)	Origem do Vento	Altura da Medição (m)	Rugosidade do Solo
3,87	Sul	10 metros	Urbano ou Florestal
Coberto de Nuvens	Temperatura do ar (°C)	Classe de Estabilidade	Altura de Inversão
9 décimas	15,08	C	Não aplicável
Humidade relativa (%)	Renovações de ar por hora		
69	0,51		
Fonte de libertação			
Cenários de Pool Fire e BLEVE			
Diâmetro da Cisterna (m)	2,4	Comprimento da Cisterna (m)	12,0
Estado físico da matéria	Líquido	Temperatura da Matéria (°C)	-175
Massa (kg) de químico	18,000	Percentagem de ocupação da cisterna (%) – fase líquida	75
Dimensões da abertura (cm)	10 x 15	Tipo de Abertura	Retangular
Local de Fuga	Buraco	% da massa do tanque na bola de fogo	100

Novembro – Noite (23h – 03h) | UN 1972 (Metano)

Dados de Entrada Aloha

Dados do Local 41º 12,835 N 8º 38,473' O			
Designação do Local	Leça do Balio	Altitude aproximada (m)	67
Tipo de Edificado	Edifícios de um só piso	Envolvente do Edificado	Envolvente desabrigada
Matéria Perigosa			
Químico	Metano	UN 1972	
Condições Atmosféricas			
Velocidade do Vento (m/s)	Origem do Vento	Altura da Medição (m)	Rugosidade do Solo
3,20	Este	10 metros	Urbano ou Florestal
Coberto de Nuvens	Temperatura do ar (°C)	Classe de Estabilidade	Altura de Inversão
9 décimas	11,65	D	Não aplicável
Humidade relativa (%)	Renovações de ar por hora		
81	0,46		
Fonte de libertação			
Cenários de Pool Fire e BLEVE			
Diâmetro da Cisterna (m)	2,4	Comprimento da Cisterna (m)	12,0
Estado físico da matéria	Líquido	Temperatura da Matéria (°C)	-175
Massa (kg) de químico	18,000	Percentagem de ocupação da cisterna (%) – fase líquida	75
Dimensões da abertura (cm)	10 x 15	Tipo de Abertura	Retangular
Local de Fuga	Buraco	% da massa do tanque na bola de fogo	100

Dezembro – Tarde (14h – 18h) | UN 1972 (Metano)

Dados de Entrada Aloha

Dados do Local 41º 12,835 N 8º 38,473' O			
Designação do Local	Leça do Balio	Altitude aproximada (m)	67
Tipo de Edificado	Edifícios de um só piso	Envolvente do Edificado	Envolvente desabrigada
Matéria Perigosa			
Químico	Metano	UN 1972	
Condições Atmosféricas			
Velocidade do Vento (m/s)	Origem do Vento	Altura da Medição (m)	Rugosidade do Solo
3,61	Sul	10 metros	Urbano ou Florestal
Coberto de Nuvens	Temperatura do ar (°C)	Classe de Estabilidade	Altura de Inversão
8 décimas	13,63	C	Não aplicável
Humidade relativa (%)	Renovações de ar por hora		
67	0,50		
Fonte de libertação			
Cenários de Pool Fire e BLEVE			
Diâmetro da Cisterna (m)	2,4	Comprimento da Cisterna (m)	12,0
Estado físico da matéria	Líquido	Temperatura da Matéria (°C)	-175
Massa (kg) de químico	18,000	Percentagem de ocupação da cisterna (%) – fase líquida	75
Dimensões da abertura (cm)	10 x 15	Tipo de Abertura	Retangular
Local de Fuga	Buraco	% da massa do tanque na bola de fogo	100

Dezembro – Noite (23h – 03h) | UN 1972 (Metano)

Dados de Entrada Aloha

Dados do Local 41º 12,835 N 8º 38,473’ O			
Designação do Local	Leça do Balio	Altitude aproximada (m)	67
Tipo de Edificado	Edifícios de um só piso	Envolvente do Edificado	Envolvente desabrigada
Matéria Perigosa			
Químico	Metano	UN 1972	
Condições Atmosféricas			
Velocidade do Vento (m/s)	Origem do Vento	Altura da Medição (m)	Rugosidade do Solo
3,73	Este	10 metros	Urbano ou Florestal
Coberto de Nuvens	Temperatura do ar (ºC)	Classe de Estabilidade	Altura de Inversão
7 décimas	10,03	D	Não aplicável
Humidade relativa (%)	Renovações de ar por hora		
77	0,53		
Fonte de libertação			
Cenários de Pool Fire e BLEVE			
Diâmetro da Cisterna (m)	2,4	Comprimento da Cisterna (m)	12,0
Estado físico da matéria	Líquido	Temperatura da Matéria (ºC)	-175
Massa (kg) de químico	18,000	Percentagem de ocupação da cisterna (%) – fase líquida	75
Dimensões da abertura (cm)	10 x 15	Tipo de Abertura	Retangular
Local de Fuga	Buraco	% da massa do tanque na bola de fogo	100

Cenários com diisocianato de tolueno (UN 2078)

Janeiro – Tarde (14h – 18h) | UN 2078 (Diisocianato de Tolueno)

Dados de Entrada Aloha

Dados do Local 41º 12,835 N 8º 38,473’ O			
Designação do Local	Leça do Balio	Altitude aproximada (m)	67
Tipo de Edificado	Edifícios de um só piso	Envolvente do Edificado	Envolvente desabrigada
Matéria Perigosa			
Químico	Diisocianato de Tolueno	UN 2078	
Condições Atmosféricas			
Velocidade do Vento (m/s)	Origem do Vento	Altura da Medição (m)	Rugosidade do Solo
4,22	Noroeste	10 metros	Urbano ou Florestal
Coberto de Nuvens	Temperatura do ar (ºC)	Classe de Estabilidade	Altura de Inversão
8 décimas	12,46	C	Não aplicável
Humidade relativa (%)	Renovações de ar por hora		
68	0,57		
Fonte de libertação			
Cenário de Nuvem Tóxica			
Tipo de Fonte	Contínua	Taxa de Saída do Poluente	3.850 litros/minuto
Altura da Fonte (m)	1,13	Duração da Descarga (min)	7
Estado físico da matéria	Líquido	Temperatura Armazenamento	40ºC
Taxa de Libertação	4.620 kg/min.	Quantidade libertada (kg)	32.332

Janeiro – Noite (23h – 03h) | UN 2078 (Diisocianato de Tolueno)

Dados de Entrada Aloha

Dados do Local 41º 12,835 N 8º 38,473’ O			
Designação do Local	Leça do Balio	Altitude aproximada (m)	67
Tipo de Edificado	Edifícios de um só piso	Envolvente do Edificado	Envolvente desabrigada
Matéria Perigosa			
Químico	Diisocianato de Tolueno	UN 2078	
Condições Atmosféricas			
Velocidade do Vento (m/s)	Origem do Vento	Altura da Medição (m)	Rugosidade do Solo
3,53	Este	10 metros	Urbano ou Florestal
Coberto de Nuvens	Temperatura do ar (ºC)	Classe de Estabilidade	Altura de Inversão
8 décimas	8,87	D	Não aplicável
Humidade relativa (%)	Renovações de ar por hora		
79	0,52		
Fonte de libertação			
Cenário de Nuvem Tóxica			
Tipo de Fonte	Contínua	Taxa de Saída do Poluente	3.850 litros/minuto
Altura da Fonte (m)	1,13	Duração da Descarga (min)	7
Estado físico da matéria	Líquido	Temperatura Armazenamento	40ºC
Taxa de Libertação	4.620 kg/min.	Quantidade libertada (kg)	32.332

Fevereiro – Tarde (14h – 18h) | UN 2078 (Diisocianato de Tolueno)

Dados de Entrada Aloha

Dados do Local 41º 12,835 N 8º 38,473' O			
Designação do Local	Leça do Balio	Altitude aproximada (m)	67
Tipo de Edificado	Edifícios de um só piso	Envolvente do Edificado	Envolvente desabrigada
Matéria Perigosa			
Químico	Diisocianato de Tolueno	UN 2078	
Condições Atmosféricas			
Velocidade do Vento (m/s)	Origem do Vento	Altura da Medição (m)	Rugosidade do Solo
4,65	Noroeste	10 metros	Urbano ou Florestal
Coberto de Nuvens	Temperatura do ar (°C)	Classe de Estabilidade	Altura de Inversão
6 décimas	13,26	C	Não aplicável
Humidade relativa (%)	Renovações de ar por hora		
61	0,61		
Fonte de libertação			
Cenário de Nuvem Tóxica			
Tipo de Fonte	Contínua	Taxa de Saída do Poluente	3.850 litros/minuto
Altura da Fonte (m)	1,13	Duração da Descarga (min)	7
Estado físico da matéria	Líquido	Temperatura Armazenamento	40ºC
Taxa de Libertação	4.620 kg/min.	Quantidade libertada (kg)	32.332

Fevereiro – Noite (23h – 03h) | UN 2078 (Diisocianato de Tolueno)

Dados de Entrada Aloha

Dados do Local 41º 12,835 N 8º 38,473’ O			
Designação do Local	Leça do Balio	Altitude aproximada (m)	67
Tipo de Edificado	Edifícios de um só piso	Envolvente do Edificado	Envolvente desabrigada
Matéria Perigosa			
Químico	Diisocianato de Tolueno	UN 2078	
Condições Atmosféricas			
Velocidade do Vento (m/s)	Origem do Vento	Altura da Medição (m)	Rugosidade do Solo
3,37	Este	10 metros	Urbano ou Florestal
Coberto de Nuvens	Temperatura do ar (ºC)	Classe de Estabilidade	Altura de Inversão
4 décimas	8,66	D	Não aplicável
Humidade relativa (%)	Renovações de ar por hora		
76	0,51		
Fonte de libertação			
Cenário de Nuvem Tóxica			
Tipo de Fonte	Contínua	Taxa de Saída do Poluente	3.850 litros/minuto
Altura da Fonte (m)	1,13	Duração da Descarga (min)	7
Estado físico da matéria	Líquido	Temperatura Armazenamento	40ºC
Taxa de Libertação	4.620 kg/min.	Quantidade libertada (kg)	32.332

Março – Tarde (14h – 18h) | UN 2078 (Diisocianato de Tolueno)

Dados de Entrada Aloha

Dados do Local 41º 12,835 N 8º 38,473’ O			
Designação do Local	Leça do Balio	Altitude aproximada (m)	67
Tipo de Edificado	Edifícios de um só piso	Envolvente do Edificado	Envolvente desabrigada
Matéria Perigosa			
Químico	Diisocianato de Tolueno	UN 2078	
Condições Atmosféricas			
Velocidade do Vento (m/s)	Origem do Vento	Altura da Medição (m)	Rugosidade do Solo
5,14	Noroeste	10 metros	Urbano ou Florestal
Coberto de Nuvens	Temperatura do ar (ºC)	Classe de Estabilidade	Altura de Inversão
5 décimas	14,85	D	Não aplicável
Humidade relativa (%)	Renovações de ar por hora		
59	0,62		
Fonte de libertação			
Cenário de Nuvem Tóxica			
Tipo de Fonte	Contínua	Taxa de Saída do Poluente	3.850 litros/minuto
Altura da Fonte (m)	1,13	Duração da Descarga (min)	7
Estado físico da matéria	Líquido	Temperatura Armazenamento	40ºC
Taxa de Libertação	4.620 kg/min.	Quantidade libertada (kg)	32.332

Março – Noite (23h – 03h) | UN 2078 (Diisocianato de Tolueno)

Dados de Entrada Aloha

Dados do Local 41º 12,835 N 8º 38,473' O			
Designação do Local	Leça do Balio	Altitude aproximada (m)	67
Tipo de Edificado	Edifícios de um só piso	Envolvente do Edificado	Envolvente desabrigada
Matéria Perigosa			
Químico	Diisocianato de Tolueno	UN 2078	
Condições Atmosféricas			
Velocidade do Vento (m/s)	Origem do Vento	Altura da Medição (m)	Rugosidade do Solo
3,26	Este	10 metros	Urbano ou Florestal
Coberto de Nuvens	Temperatura do ar (°C)	Classe de Estabilidade	Altura de Inversão
5 décimas	10,68	D	Não aplicável
Humidade relativa (%)	Renovações de ar por hora		
73	0,41		
Fonte de libertação			
Cenário de Nuvem Tóxica			
Tipo de Fonte	Contínua	Taxa de Saída do Poluente	3.850 litros/minuto
Altura da Fonte (m)	1,13	Duração da Descarga (min)	7
Estado físico da matéria	Líquido	Temperatura Armazenamento	40ºC
Taxa de Libertação	4.620 kg/min.	Quantidade libertada (kg)	32.332

Abril – Tarde (14h – 18h) | UN 2078 (Diisocianato de Tolueno)

Dados de Entrada Aloha

Dados do Local 41º 12,835 N 8º 38,473' O			
Designação do Local	Leça do Balio	Altitude aproximada (m)	67
Tipo de Edificado	Edifícios de um só piso	Envolvente do Edificado	Envolvente desabrigada
Matéria Perigosa			
Químico	Diisocianato de Tolueno	UN 2078	
Condições Atmosféricas			
Velocidade do Vento (m/s)	Origem do Vento	Altura da Medição (m)	Rugosidade do Solo
5,17	Noroeste	10 metros	Urbano ou Florestal
Coberto de Nuvens	Temperatura do ar (°C)	Classe de Estabilidade	Altura de Inversão
3 décimas	16,50	C	Não aplicável
Humidade relativa (%)	Renovações de ar por hora		
60	0,61		
Fonte de libertação			
Cenário de Nuvem Tóxica			
Tipo de Fonte	Contínua	Taxa de Saída do Poluente	3.850 litros/minuto
Altura da Fonte (m)	1,13	Duração da Descarga (min)	7
Estado físico da matéria	Líquido	Temperatura Armazenamento	40ºC
Taxa de Libertação	4.620 kg/min.	Quantidade libertada (kg)	32.332

Abril – Noite (23h – 03h) | UN 2078 (Diisocianato de Tolueno)

Dados de Entrada Aloha

Dados do Local 41º 12,835 N 8º 38,473' O			
Designação do Local	Leça do Balio	Altitude aproximada (m)	67
Tipo de Edificado	Edifícios de um só piso	Envolvente do Edificado	Envolvente desabrigada
Matéria Perigosa			
Químico	Diisocianato de Tolueno	UN 2078	
Condições Atmosféricas			
Velocidade do Vento (m/s)	Origem do Vento	Altura da Medição (m)	Rugosidade do Solo
2,70	Lés-Nordeste	10 metros	Urbano ou Florestal
Coberto de Nuvens	Temperatura do ar (°C)	Classe de Estabilidade	Altura de Inversão
5 décimas	12,12	E	Não aplicável
Humidade relativa (%)	Renovações de ar por hora		
77	0,61		
Fonte de libertação			
Cenário de Nuvem Tóxica			
Tipo de Fonte	Contínua	Taxa de Saída do Poluente	3.850 litros/minuto
Altura da Fonte (m)	1,13	Duração da Descarga (min)	7
Estado físico da matéria	Líquido	Temperatura Armazenamento	40ºC
Taxa de Libertação	4.620 kg/min.	Quantidade libertada (kg)	32.332

Maio – Tarde (14h – 18h) | UN 2078 (Diisocianato de Tolueno)

Dados de Entrada Aloha

Dados do Local 41º 12,835 N 8º 38,473’ O			
Designação do Local	Leça do Balio	Altitude aproximada (m)	67
Tipo de Edificado	Edifícios de um só piso	Envolvente do Edificado	Envolvente desabrigada
Matéria Perigosa			
Químico	Diisocianato de Tolueno	UN 2078	
Condições Atmosféricas			
Velocidade do Vento (m/s)	Origem do Vento	Altura da Medição (m)	Rugosidade do Solo
5,56	Noroeste	10 metros	Urbano ou Florestal
Coberto de Nuvens	Temperatura do ar (ºC)	Classe de Estabilidade	Altura de Inversão
1 décima	18,88	C	Não aplicável
Humidade relativa (%)	Renovações de ar por hora		
60	0,64		
Fonte de libertação			
Cenário de Nuvem Tóxica			
Tipo de Fonte	Contínua	Taxa de Saída do Poluente	3.850 litros/minuto
Altura da Fonte (m)	1,13	Duração da Descarga (min)	7
Estado físico da matéria	Líquido	Temperatura Armazenamento	40ºC
Taxa de Libertação	4.620 kg/min.	Quantidade libertada (kg)	32.332

Maio – Noite (23h – 03h) | UN 2078 (Diisocianato de Tolueno)

Dados de Entrada Aloha

Dados do Local 41º 12,835 N 8º 38,473’ O			
Designação do Local	Leça do Balio	Altitude aproximada (m)	67
Tipo de Edificado	Edifícios de um só piso	Envolvente do Edificado	Envolvente desabrigada
Matéria Perigosa			
Químico	Diisocianato de Tolueno	UN 2078	
Condições Atmosféricas			
Velocidade do Vento (m/s)	Origem do Vento	Altura da Medição (m)	Rugosidade do Solo
2,67	Norte	10 metros	Urbano ou Florestal
Coberto de Nuvens	Temperatura do ar (ºC)	Classe de Estabilidade	Altura de Inversão
5 décimas	14,14	E	Não aplicável
Humidade relativa (%)	Renovações de ar por hora		
76	0,64		
Fonte de libertação			
Cenário de Nuvem Tóxica			
Tipo de Fonte	Contínua	Taxa de Saída do Poluente	3.850 litros/minuto
Altura da Fonte (m)	1,13	Duração da Descarga (min)	7
Estado físico da matéria	Líquido	Temperatura Armazenamento	40ºC
Taxa de Libertação	4.620 kg/min.	Quantidade libertada (kg)	32.332

Junho – Tarde (14h – 18h) | UN 2078 (Diisocianato de Tolueno)

Dados de Entrada Aloha

Dados do Local 41º 12,835 N 8º 38,473’ O			
Designação do Local	Leça do Balio	Altitude aproximada (m)	67
Tipo de Edificado	Edifícios de um só piso	Envolvente do Edificado	Envolvente desabrigada
Matéria Perigosa			
Químico	Diisocianato de Tolueno	UN 2078	
Condições Atmosféricas			
Velocidade do Vento (m/s)	Origem do Vento	Altura da Medição (m)	Rugosidade do Solo
5,24	Noroeste	10 metros	Urbano ou Florestal
Coberto de Nuvens	Temperatura do ar (ºC)	Classe de Estabilidade	Altura de Inversão
1 décima	20,71	C	Não aplicável
Humidade relativa (%)	Renovações de ar por hora		
61	0,60		
Fonte de libertação			
Cenário de Nuvem Tóxica			
Tipo de Fonte	Contínua	Taxa de Saída do Poluente	3.850 litros/minuto
Altura da Fonte (m)	1,13	Duração da Descarga (min)	7
Estado físico da matéria	Líquido	Temperatura Armazenamento	40ºC
Taxa de Libertação	4.620 kg/min.	Quantidade libertada (kg)	32.332

Junho – Noite (23h – 03h) | UN 2078 (Diisocianato de Tolueno)

Dados de Entrada Aloha

Dados do Local 41º 12,835 N 8º 38,473’ O			
Designação do Local	Leça do Balio	Altitude aproximada (m)	67
Tipo de Edificado	Edifícios de um só piso	Envolvente do Edificado	Envolvente desabrigada
Matéria Perigosa			
Químico	Diisocianato de Tolueno	UN 2078	
Condições Atmosféricas			
Velocidade do Vento (m/s)	Origem do Vento	Altura da Medição (m)	Rugosidade do Solo
2,14	Nor-Noroeste	10 metros	Urbano ou Florestal
Coberto de Nuvens	Temperatura do ar (ºC)	Classe de Estabilidade	Altura de Inversão
3 décimas	16,04	F	Não aplicável
Humidade relativa (%)	Renovações de ar por hora		
79	0,21		
Fonte de libertação			
Cenário de Nuvem Tóxica			
Tipo de Fonte	Contínua	Taxa de Saída do Poluente	3.850 litros/minuto
Altura da Fonte (m)	1,13	Duração da Descarga (min)	7
Estado físico da matéria	Líquido	Temperatura Armazenamento	40ºC
Taxa de Libertação	4.620 kg/min.	Quantidade libertada (kg)	32.332

Julho – Tarde (14h – 18h) | UN 2078 (Diisocianato de Tolueno)

Dados de Entrada Aloha

Dados do Local 41º 12,835 N 8º 38,473' O			
Designação do Local	Leça do Balio	Altitude aproximada (m)	67
Tipo de Edificado	Edifícios de um só piso	Envolvente do Edificado	Envolvente desabrigada
Matéria Perigosa			
Químico	Diisocianato de Tolueno	UN 2078	
Condições Atmosféricas			
Velocidade do Vento (m/s)	Origem do Vento	Altura da Medição (m)	Rugosidade do Solo
5,30	Noroeste	10 metros	Urbano ou Florestal
Coberto de Nuvens	Temperatura do ar (°C)	Classe de Estabilidade	Altura de Inversão
1 décima	22,41	C	Não aplicável
Humidade relativa (%)	Renovações de ar por hora		
61	0,65		
Fonte de libertação			
Cenário de Nuvem Tóxica			
Tipo de Fonte	Contínua	Taxa de Saída do Poluente	3.850 litros/minuto
Altura da Fonte (m)	1,13	Duração da Descarga (min)	7
Estado físico da matéria	Líquido	Temperatura Armazenamento	40ºC
Taxa de Libertação	4.620 kg/min.	Quantidade libertada (kg)	32.332

Julho – Noite (23h – 03h) | UN 2078 (Diisocianato de Tolueno)

Dados de Entrada Aloha

Dados do Local 41º 12,835 N 8º 38,473' O			
Designação do Local	Leça do Balio	Altitude aproximada (m)	67
Tipo de Edificado	Edifícios de um só piso	Envolvente do Edificado	Envolvente desabrigada
Matéria Perigosa			
Químico	Diisocianato de Tolueno	UN 2078	
Condições Atmosféricas			
Velocidade do Vento (m/s)	Origem do Vento	Altura da Medição (m)	Rugosidade do Solo
2,14	Nor-Noroeste	10 metros	Urbano ou Florestal
Coberto de Nuvens	Temperatura do ar (°C)	Classe de Estabilidade	Altura de Inversão
1 décima	17,19	F	Não aplicável
Humidade relativa (%)	Renovações de ar por hora		
82	0,25		
Fonte de libertação			
Cenário de Nuvem Tóxica			
Tipo de Fonte	Contínua	Taxa de Saída do Poluente	3.850 litros/minuto
Altura da Fonte (m)	1,13	Duração da Descarga (min)	7
Estado físico da matéria	Líquido	Temperatura Armazenamento	40ºC
Taxa de Libertação	4.620 kg/min.	Quantidade libertada (kg)	32.332

Agosto – Tarde (14h – 18h) | UN 2078 (Diisocianato de Tolueno)

Dados de Entrada Aloha

Dados do Local 41º 12,835 N 8º 38,473’ O			
Designação do Local	Leça do Balio	Altitude aproximada (m)	67
Tipo de Edificado	Edifícios de um só piso	Envolvente do Edificado	Envolvente desabrigada
Matéria Perigosa			
Químico	Diisocianato de Tolueno	UN 2078	
Condições Atmosféricas			
Velocidade do Vento (m/s)	Origem do Vento	Altura da Medição (m)	Rugosidade do Solo
5,05	Noroeste	10 metros	Urbano ou Florestal
Coberto de Nuvens	Temperatura do ar (ºC)	Classe de Estabilidade	Altura de Inversão
2 décimas	22,80	C	Não aplicável
Humidade relativa (%)	Renovações de ar por hora		
60	0,60		
Fonte de libertação			
Cenário de Nuvem Tóxica			
Tipo de Fonte	Contínua	Taxa de Saída do Poluente	3.850 litros/minuto
Altura da Fonte (m)	1,13	Duração da Descarga (min)	7
Estado físico da matéria	Líquido	Temperatura Armazenamento	40ºC
Taxa de Libertação	4.620 kg/min.	Quantidade libertada (kg)	32.332

Agosto – Noite (23h – 03h) | UN 2078 (Diisocianato de Tolueno)

Dados de Entrada Aloha

Dados do Local 41º 12,835 N 8º 38,473’ O			
Designação do Local	Leça do Balio	Altitude aproximada (m)	67
Tipo de Edificado	Edifícios de um só piso	Envolvente do Edificado	Envolvente desabrigada
Matéria Perigosa			
Químico	Diisocianato de Tolueno	UN 2078	
Condições Atmosféricas			
Velocidade do Vento (m/s)	Origem do Vento	Altura da Medição (m)	Rugosidade do Solo
2,64	Nor-Noroeste	10 metros	Urbano ou Florestal
Coberto de Nuvens	Temperatura do ar (ºC)	Classe de Estabilidade	Altura de Inversão
2 décimas	17,44	F	Não aplicável
Humidade relativa (%)	Renovações de ar por hora		
82	0,29		
Fonte de libertação			
Cenário de Nuvem Tóxica			
Tipo de Fonte	Contínua	Taxa de Saída do Poluente	3.850 litros/minuto
Altura da Fonte (m)	1,13	Duração da Descarga (min)	7
Estado físico da matéria	Líquido	Temperatura Armazenamento	40ºC
Taxa de Libertação	4.620 kg/min.	Quantidade libertada (kg)	32.332

Setembro – Tarde (14h – 18h) | UN 2078 (Diisocianato de Tolueno)

Dados de Entrada Aloha

Dados do Local 41º 12,835 N 8º 38,473’ O			
Designação do Local	Leça do Balio	Altitude aproximada (m)	67
Tipo de Edificado	Edifícios de um só piso	Envolvente do Edificado	Envolvente desabrigada
Matéria Perigosa			
Químico	Diisocianato de Tolueno	UN 2078	
Condições Atmosféricas			
Velocidade do Vento (m/s)	Origem do Vento	Altura da Medição (m)	Rugosidade do Solo
4,58	Noroeste	10 metros	Urbano ou Florestal
Coberto de Nuvens	Temperatura do ar (ºC)	Classe de Estabilidade	Altura de Inversão
4 décimas	22,35	B	Não aplicável
Humidade relativa (%)	Renovações de ar por hora		
59	0,56		
Fonte de libertação			
Cenário de Nuvem Tóxica			
Tipo de Fonte	Contínua	Taxa de Saída do Poluente	3.850 litros/minuto
Altura da Fonte (m)	1,13	Duração da Descarga (min)	7
Estado físico da matéria	Líquido	Temperatura Armazenamento	40ºC
Taxa de Libertação	4.620 kg/min.	Quantidade libertada (kg)	32.332

Setembro – Noite (23h – 03h) | UN 2078 (Diisocianato de Tolueno)

Dados de Entrada Aloha

Dados do Local 41º 12,835 N 8º 38,473’ O			
Designação do Local	Leça do Balio	Altitude aproximada (m)	67
Tipo de Edificado	Edifícios de um só piso	Envolvente do Edificado	Envolvente desabrigada
Matéria Perigosa			
Químico	Diisocianato de Tolueno	UN 2078	
Condições Atmosféricas			
Velocidade do Vento (m/s)	Origem do Vento	Altura da Medição (m)	Rugosidade do Solo
2,07	Este	10 metros	Urbano ou Florestal
Coberto de Nuvens	Temperatura do ar (ºC)	Classe de Estabilidade	Altura de Inversão
3 décimas	17,16	F	Não aplicável
Humidade relativa (%)	Renovações de ar por hora		
80	0,25		
Fonte de libertação			
Cenário de Nuvem Tóxica			
Tipo de Fonte	Contínua	Taxa de Saída do Poluente	3.850 litros/minuto
Altura da Fonte (m)	1,13	Duração da Descarga (min)	7
Estado físico da matéria	Líquido	Temperatura Armazenamento	40ºC
Taxa de Libertação	4.620 kg/min.	Quantidade libertada (kg)	32.332

Outubro – Tarde (14h – 18h) | UN 2078 (Diisocianato de Tolueno)

Dados de Entrada Aloha

Dados do Local 41º 12,835 N 8º 38,473' O			
Designação do Local	Leça do Balio	Altitude aproximada (m)	67
Tipo de Edificado	Edifícios de um só piso	Envolvente do Edificado	Envolvente desabrigada
Matéria Perigosa			
Químico	Diisocianato de Tolueno	UN 2078	
Condições Atmosféricas			
Velocidade do Vento (m/s)	Origem do Vento	Altura da Medição (m)	Rugosidade do Solo
3,94	Este	10 metros	Urbano ou Florestal
Coberto de Nuvens	Temperatura do ar (°C)	Classe de Estabilidade	Altura de Inversão
7 décimas	19,90	B	Não aplicável
Humidade relativa (%)	Renovações de ar por hora		
62	0,47		
Fonte de libertação			
Cenário de Nuvem Tóxica			
Tipo de Fonte	Contínua	Taxa de Saída do Poluente	3.850 litros/minuto
Altura da Fonte (m)	1,13	Duração da Descarga (min)	7
Estado físico da matéria	Líquido	Temperatura Armazenamento	40ºC
Taxa de Libertação	4.620 kg/min.	Quantidade libertada (kg)	32.332

Outubro – Noite (23h – 03h) | UN 2078 (Diisocianato de Tolueno)

Dados de Entrada Aloha

Dados do Local 41º 12,835 N 8º 38,473' O			
Designação do Local	Leça do Balio	Altitude aproximada (m)	67
Tipo de Edificado	Edifícios de um só piso	Envolvente do Edificado	Envolvente desabrigada
Matéria Perigosa			
Químico	Diisocianato de Tolueno	UN 2078	
Condições Atmosféricas			
Velocidade do Vento (m/s)	Origem do Vento	Altura da Medição (m)	Rugosidade do Solo
3,10	Este	10 metros	Urbano ou Florestal
Coberto de Nuvens	Temperatura do ar (°C)	Classe de Estabilidade	Altura de Inversão
8 décimas	15,70	D	Não aplicável
Humidade relativa (%)	Renovações de ar por hora		
78	0,41		
Fonte de libertação			
Cenário de Nuvem Tóxica			
Tipo de Fonte	Contínua	Taxa de Saída do Poluente	3.850 litros/minuto
Altura da Fonte (m)	1,13	Duração da Descarga (min)	7
Estado físico da matéria	Líquido	Temperatura Armazenamento	40°C
Taxa de Libertação	4.620 kg/min.	Quantidade libertada (kg)	32.332

Novembro – Tarde (14h – 18h) | UN 2078 (Diisocianato de Tolueno)

Dados de Entrada Aloha

Dados do Local 41º 12,835 N 8º 38,473’ O			
Designação do Local	Leça do Balio	Altitude aproximada (m)	67
Tipo de Edificado	Edifícios de um só piso	Envolvente do Edificado	Envolvente desabrigada
Matéria Perigosa			
Químico	Diisocianato de Tolueno	UN 2078	
Condições Atmosféricas			
Velocidade do Vento (m/s)	Origem do Vento	Altura da Medição (m)	Rugosidade do Solo
3,87	Sul	10 metros	Urbano ou Florestal
Coberto de Nuvens	Temperatura do ar (ºC)	Classe de Estabilidade	Altura de Inversão
8 décimas	15,08	C	Não aplicável
Humidade relativa (%)	Renovações de ar por hora		
69	0,51		
Fonte de libertação			
Cenário de Nuvem Tóxica			
Tipo de Fonte	Contínua	Taxa de Saída do Poluente	3.850 litros/minuto
Altura da Fonte (m)	1,13	Duração da Descarga (min)	7
Estado físico da matéria	Líquido	Temperatura Armazenamento	40ºC
Taxa de Libertação	4.620 kg/min.	Quantidade libertada (kg)	32.332

Novembro – Noite (23h – 03h) | UN 2078 (Diisocianato de Tolueno)

Dados de Entrada Aloha

Dados do Local 41º 12,835 N 8º 38,473’ O			
Designação do Local	Leça do Balio	Altitude aproximada (m)	67
Tipo de Edificado	Edifícios de um só piso	Envolvente do Edificado	Envolvente desabrigada
Matéria Perigosa			
Químico	Diisocianato de Tolueno	UN 2078	
Condições Atmosféricas			
Velocidade do Vento (m/s)	Origem do Vento	Altura da Medição (m)	Rugosidade do Solo
3,20	Este	10 metros	Urbano ou Florestal
Coberto de Nuvens	Temperatura do ar (ºC)	Classe de Estabilidade	Altura de Inversão
9 décimas	11,65	D	Não aplicável
Humidade relativa (%)	Renovações de ar por hora		
81	0,46		
Fonte de libertação			
Cenário de Nuvem Tóxica			
Tipo de Fonte	Contínua	Taxa de Saída do Poluente	3.850 litros/minuto
Altura da Fonte (m)	1,13	Duração da Descarga (min)	7
Estado físico da matéria	Líquido	Temperatura Armazenamento	40ºC
Taxa de Libertação	4.620 kg/min.	Quantidade libertada (kg)	32.332

Dezembro – Tarde (14h – 18h) | UN 2078 (Diisocianato de Tolueno)

Dados de Entrada Aloha

Dados do Local 41º 12,835 N 8º 38,473’ O			
Designação do Local	Leça do Balio	Altitude aproximada (m)	67
Tipo de Edificado	Edifícios de um só piso	Envolvente do Edificado	Envolvente desabrigada
Matéria Perigosa			
Químico	Diisocianato de Tolueno	UN 2078	
Condições Atmosféricas			
Velocidade do Vento (m/s)	Origem do Vento	Altura da Medição (m)	Rugosidade do Solo
3,61	Sul	10 metros	Urbano ou Florestal
Coberto de Nuvens	Temperatura do ar (°C)	Classe de Estabilidade	Altura de Inversão
8 décimas	13,63	C	Não aplicável
Humidade relativa (%)	Renovações de ar por hora		
67	0,50		
Fonte de libertação			
Cenário de Nuvem Tóxica			
Tipo de Fonte	Contínua	Taxa de Saída do Poluente	3.850 litros/minuto
Altura da Fonte (m)	1,13	Duração da Descarga (min)	7
Estado físico da matéria	Líquido	Temperatura Armazenamento	40°C
Taxa de Libertação	4.620 kg/min.	Quantidade libertada (kg)	32.332

Dezembro – Noite (23h – 03h) | UN 2078 (Diisocianato de Tolueno)

Dados de Entrada Aloha

Dados do Local 41º 12,835 N 8º 38,473’ O			
Designação do Local	Leça do Balio	Altitude aproximada (m)	67
Tipo de Edificado	Edifícios de um só piso	Envolvente do Edificado	Envolvente desabrigada
Matéria Perigosa			
Químico	Diisocianato de Tolueno	UN 2078	
Condições Atmosféricas			
Velocidade do Vento (m/s)	Origem do Vento	Altura da Medição (m)	Rugosidade do Solo
3,73	Este	10 metros	Urbano ou Florestal
Coberto de Nuvens	Temperatura do ar (ºC)	Classe de Estabilidade	Altura de Inversão
7 décimas	10,03	D	Não aplicável
Humidade relativa (%)	Renovações de ar por hora		
77	0,53		
Fonte de libertação			
Cenário de Nuvem Tóxica			
Tipo de Fonte	Contínua	Taxa de Saída do Poluente	3.850 litros/minuto
Altura da Fonte (m)	1,13	Duração da Descarga (min)	7
Estado físico da matéria	Líquido	Temperatura Armazenamento	40ºC
Taxa de Libertação	4.620 kg/min.	Quantidade libertada (kg)	32.332

Anexo D – Zonas de ameaça (*pool fire*)

Edificado









































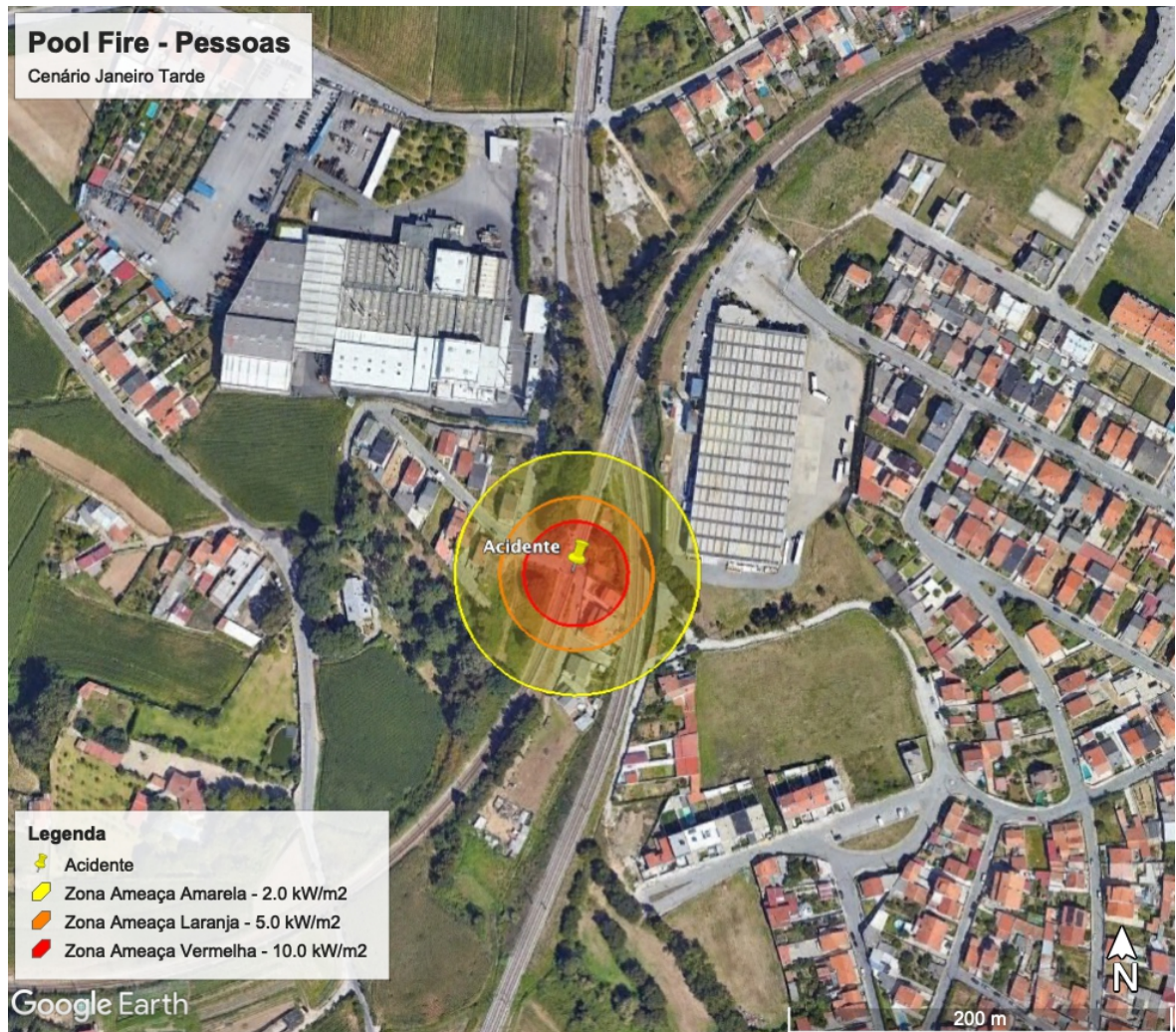








População











































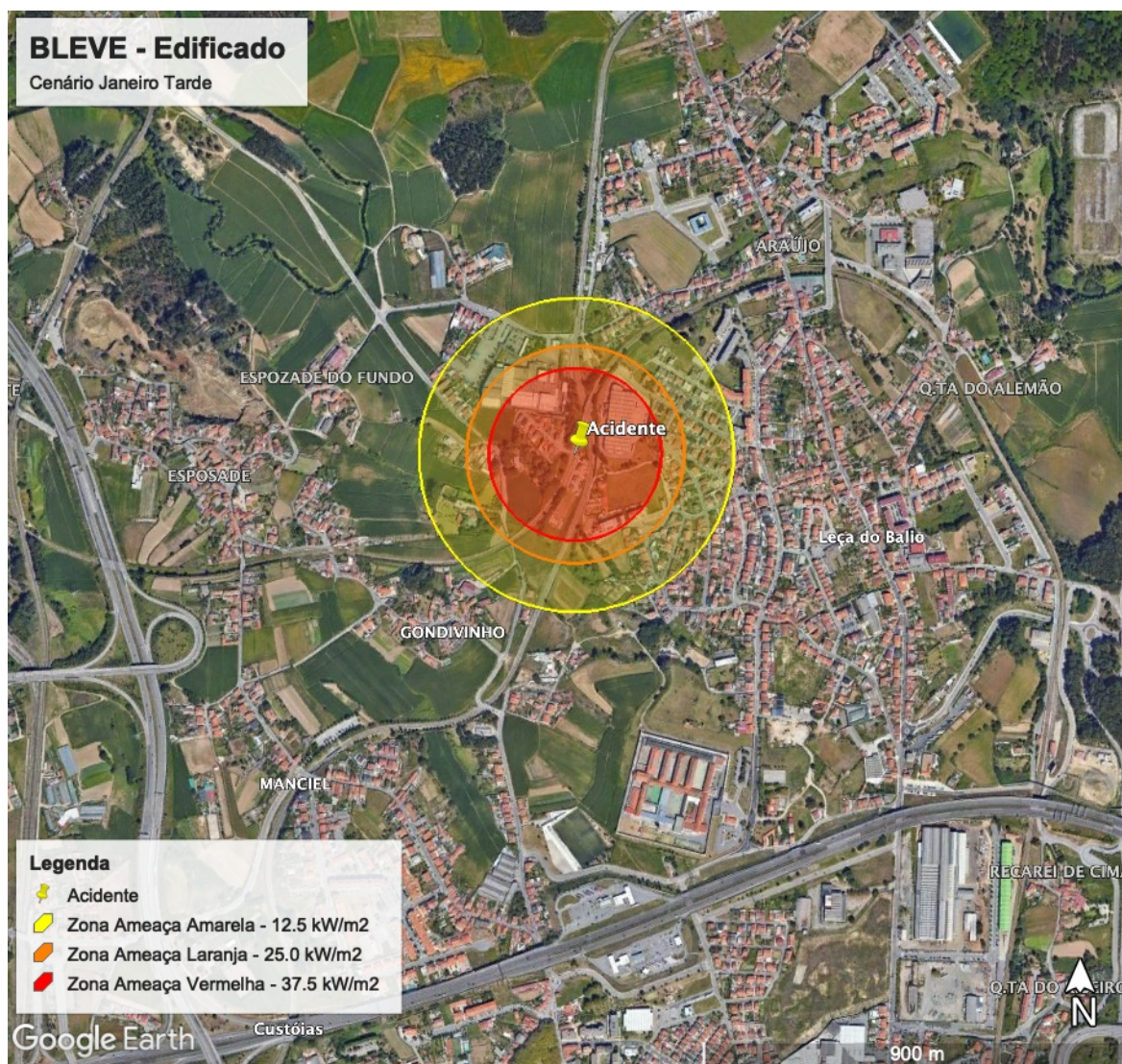


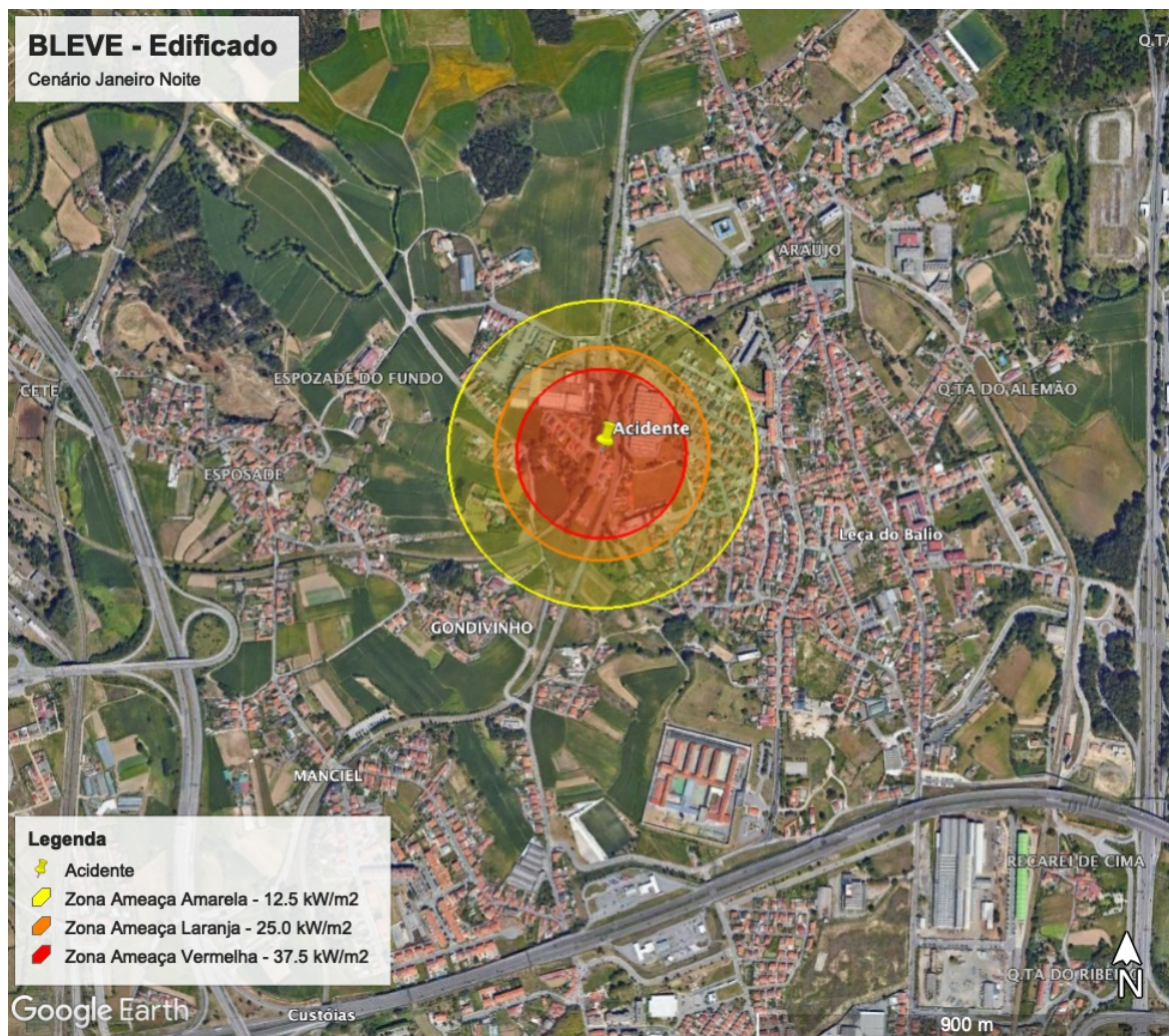


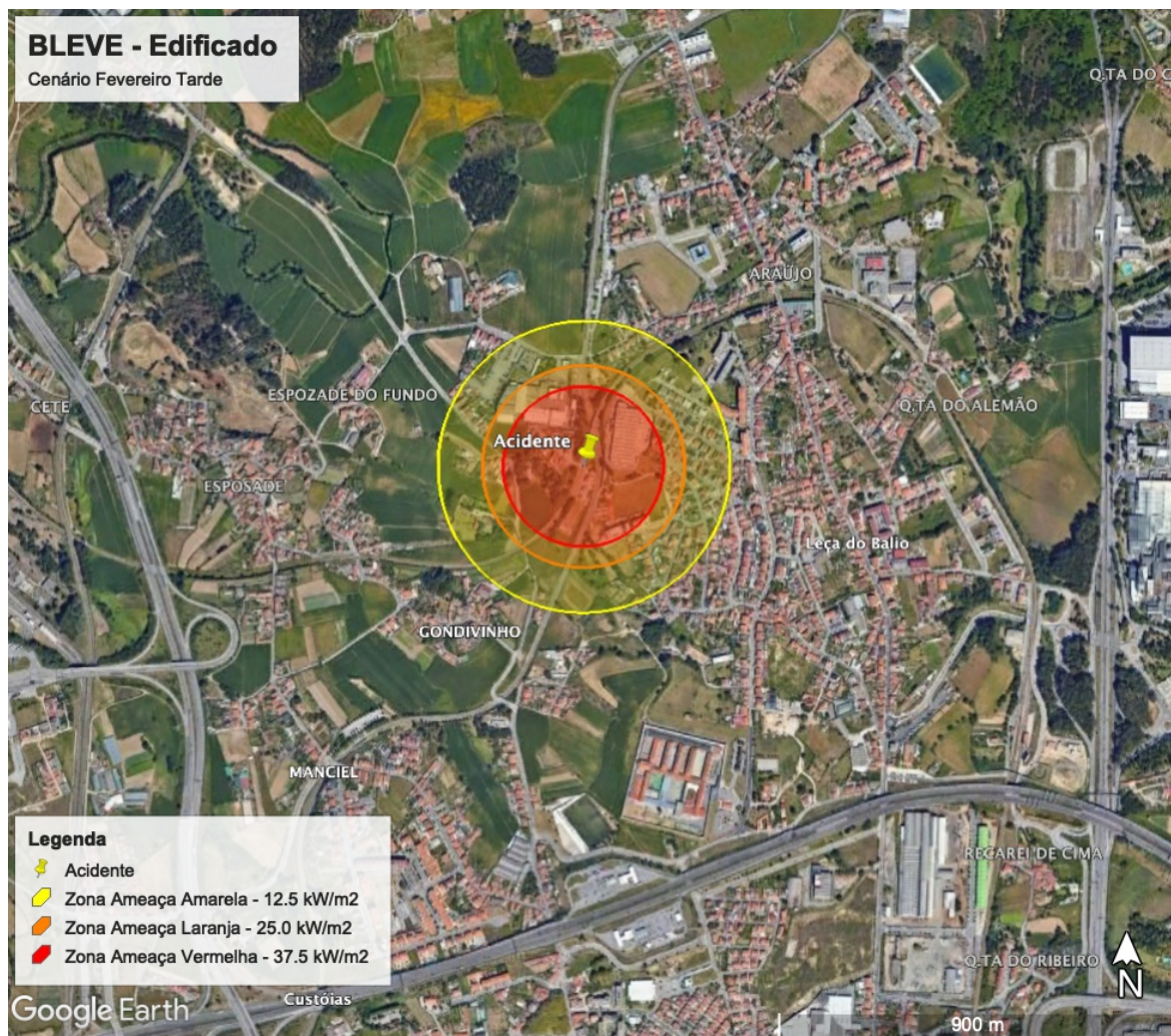


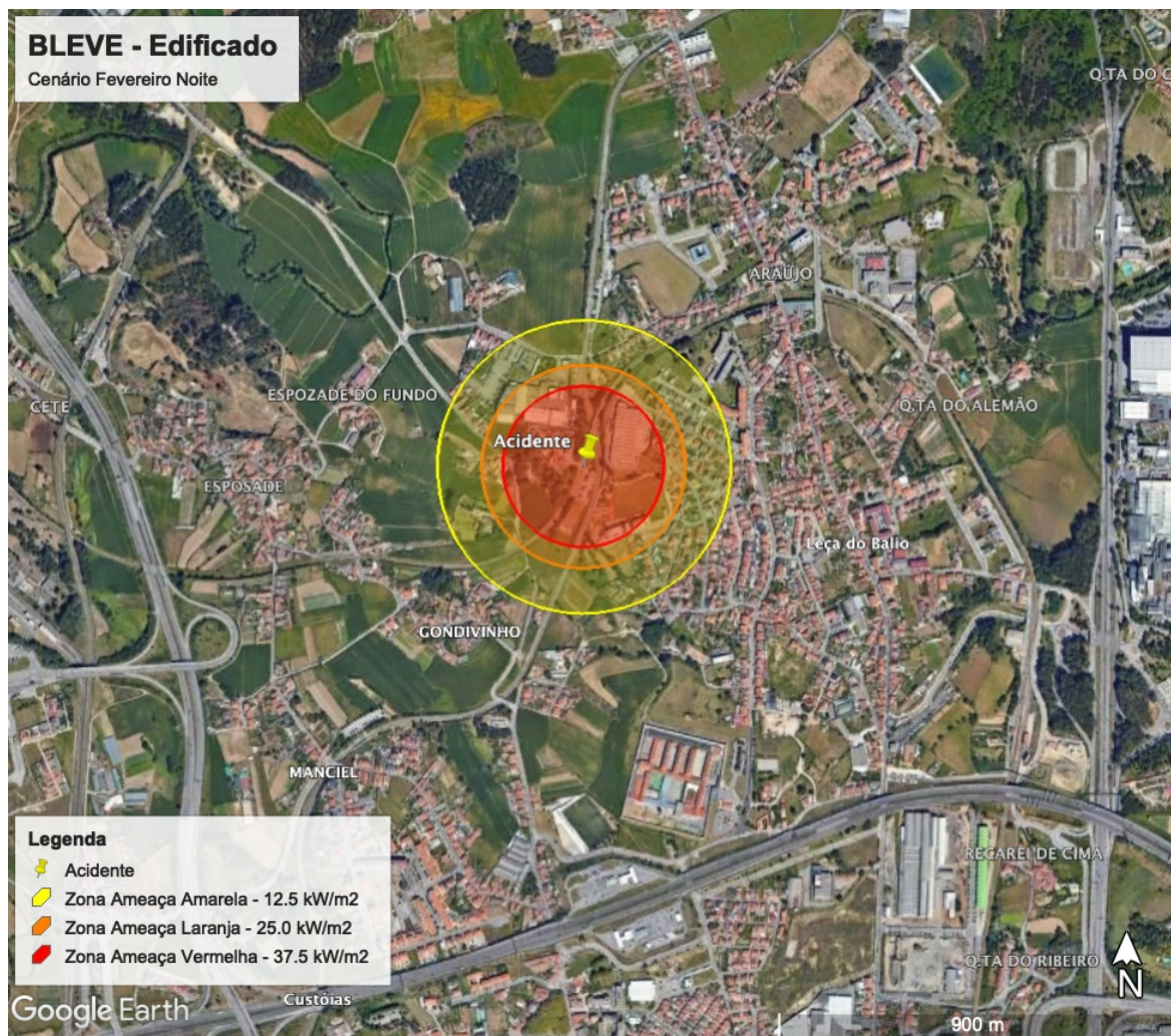
Anexo E – Zonas de ameaça (BLEVE)

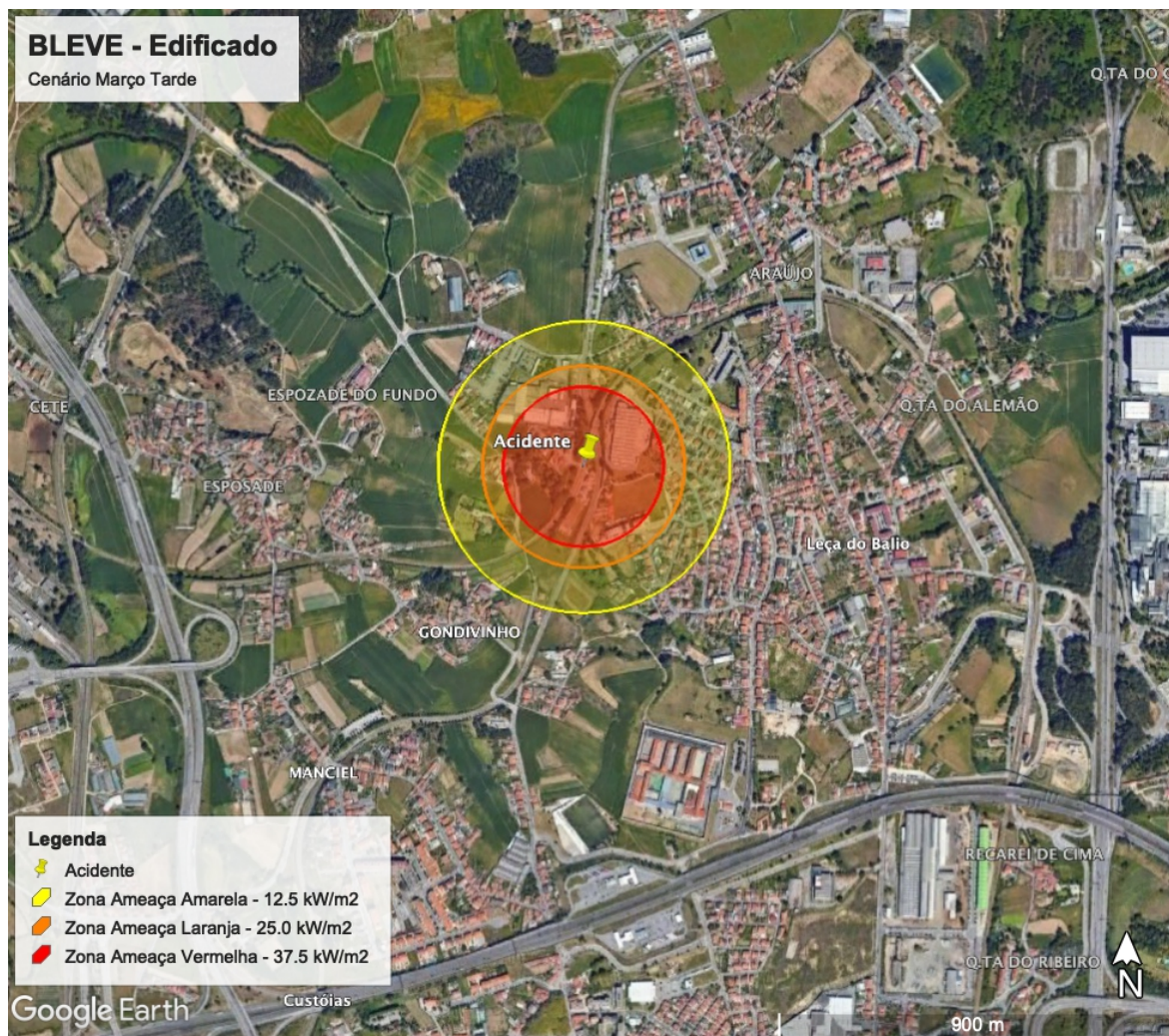
Edificado

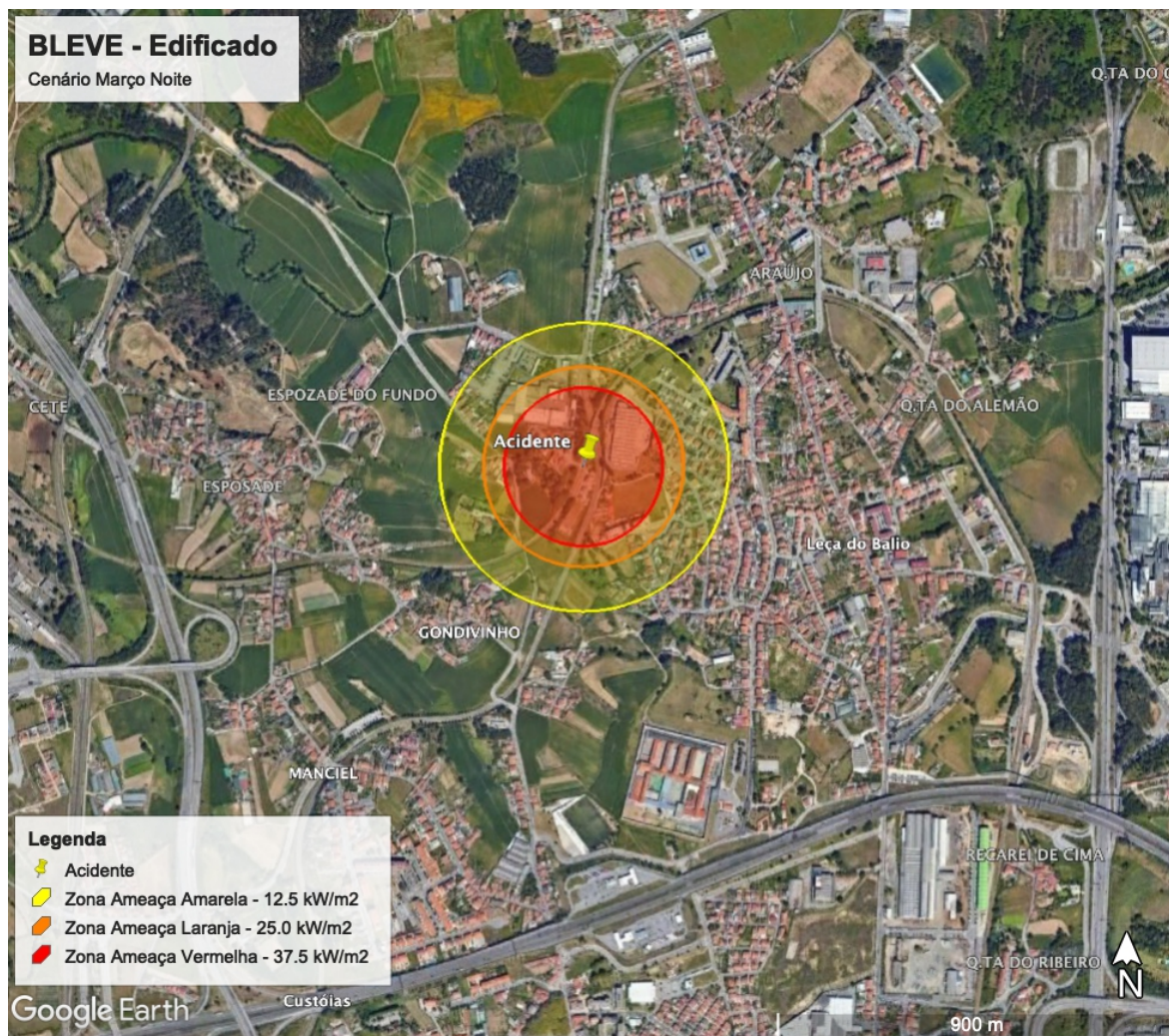


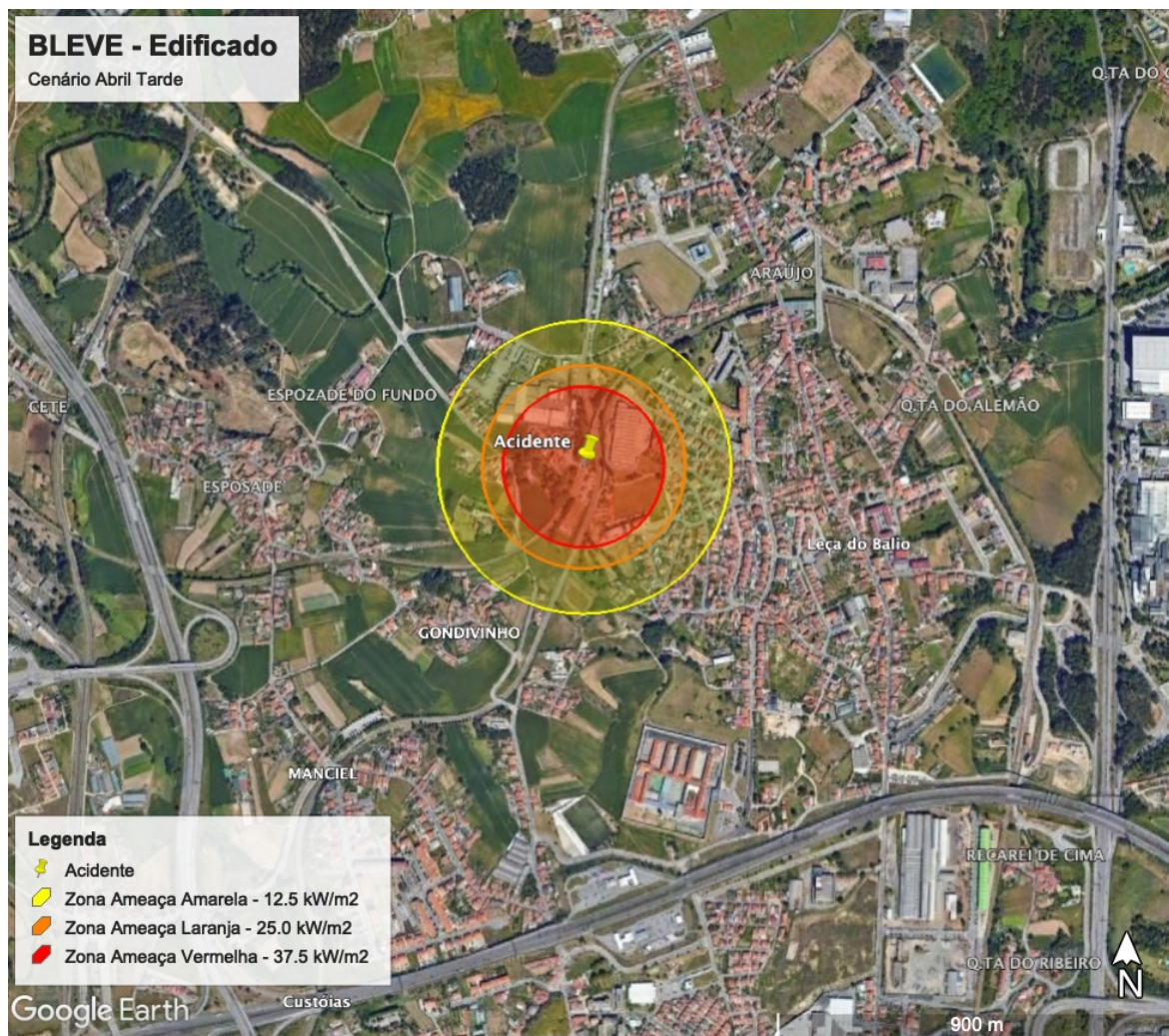


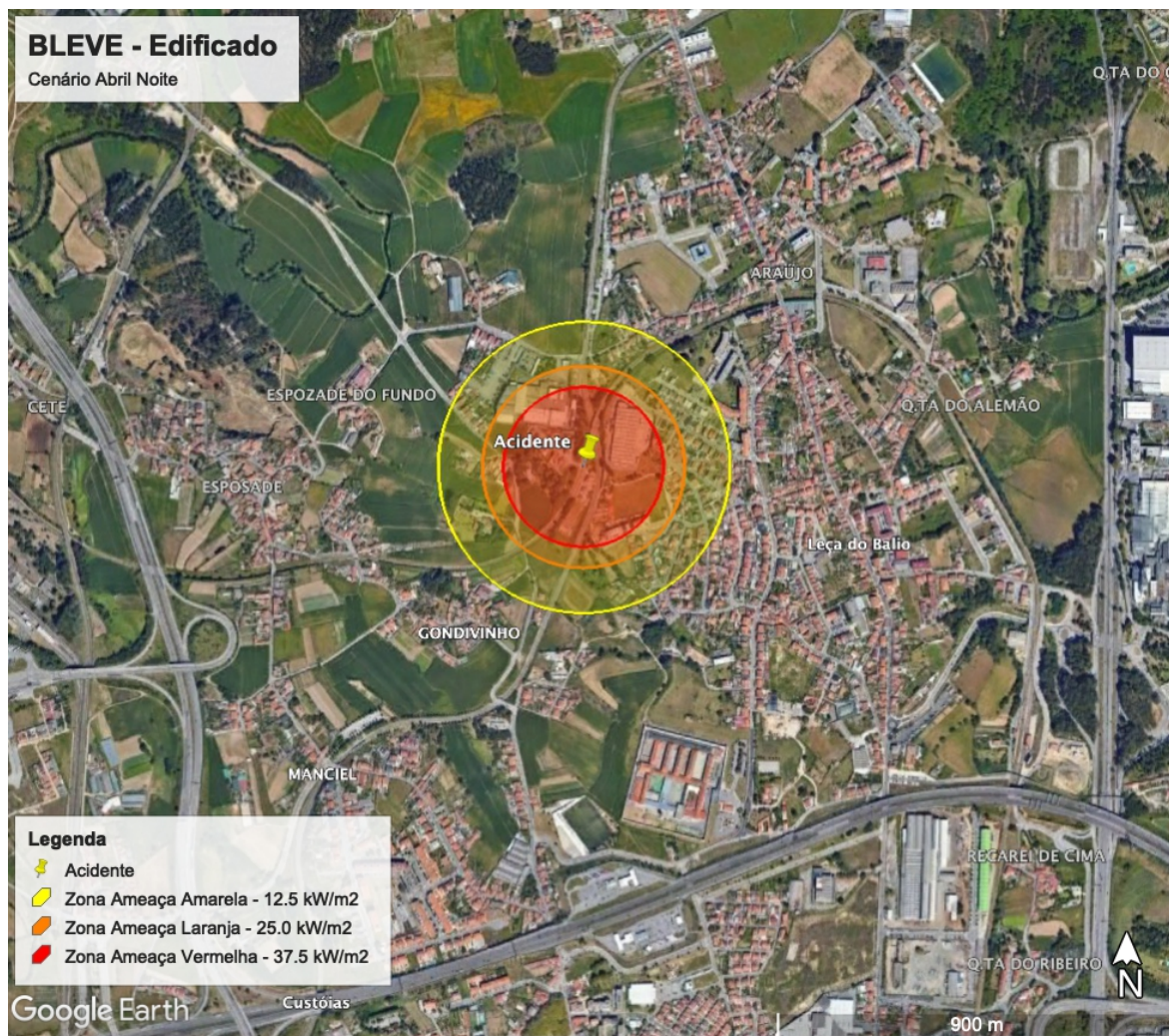


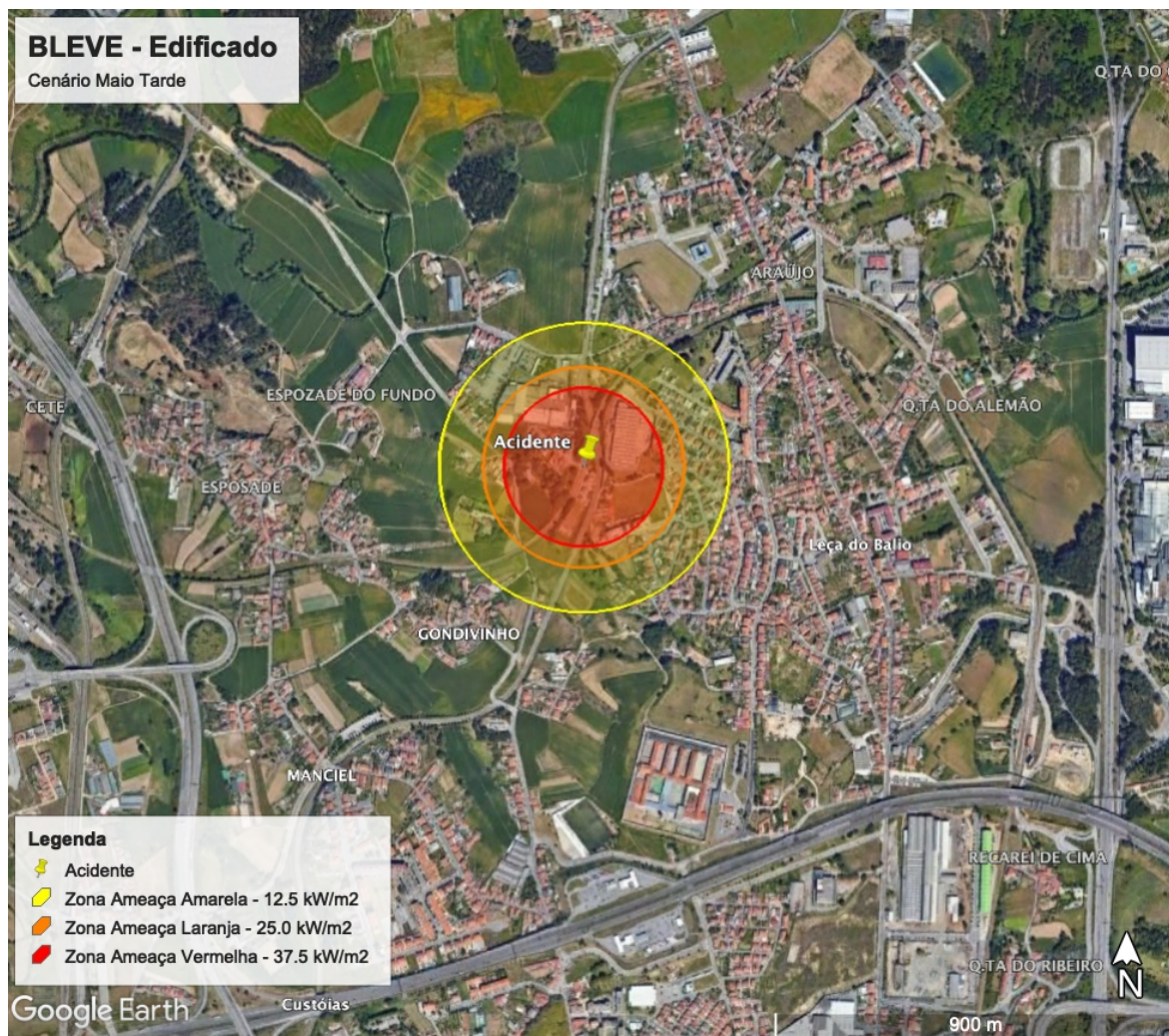


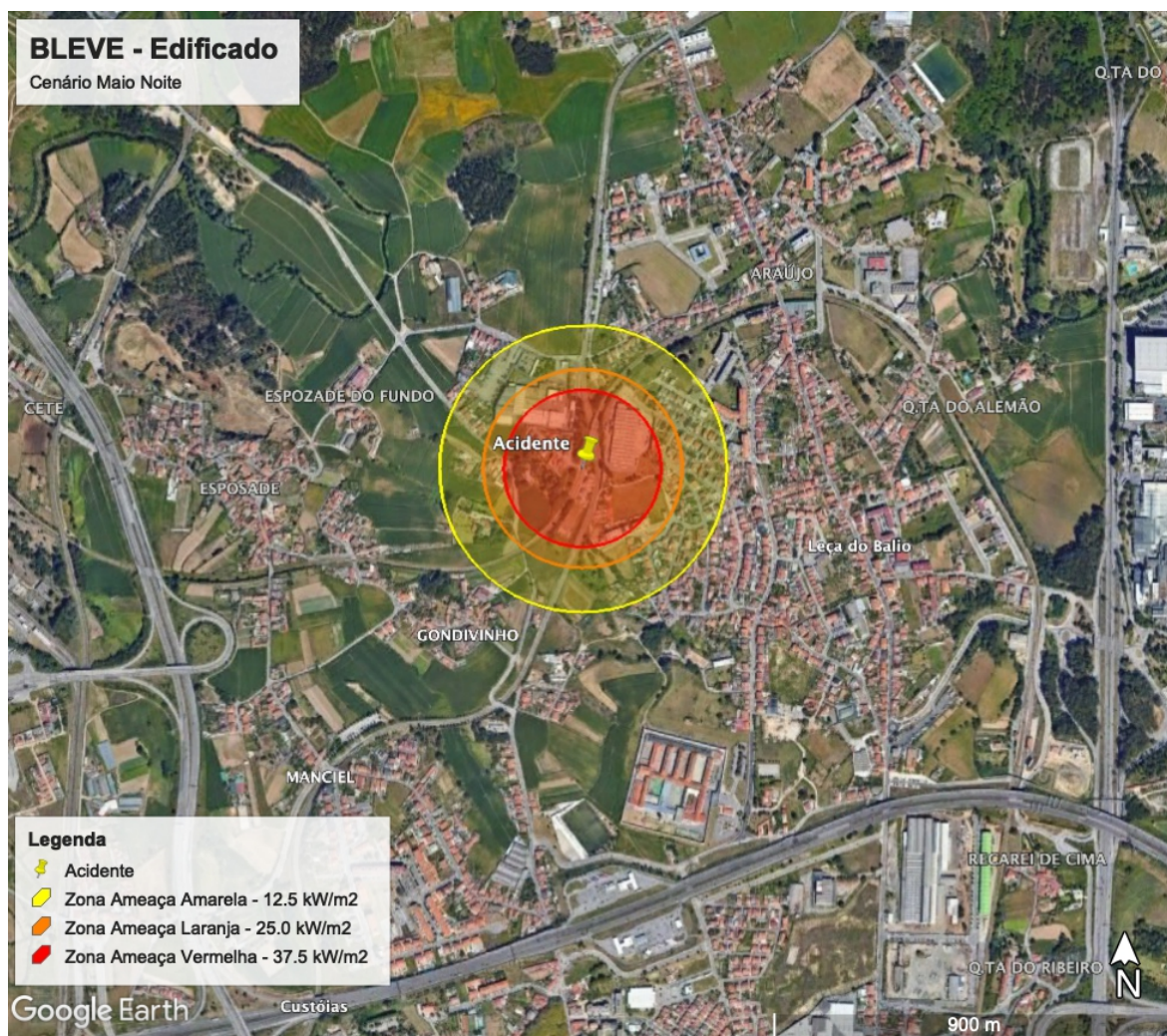


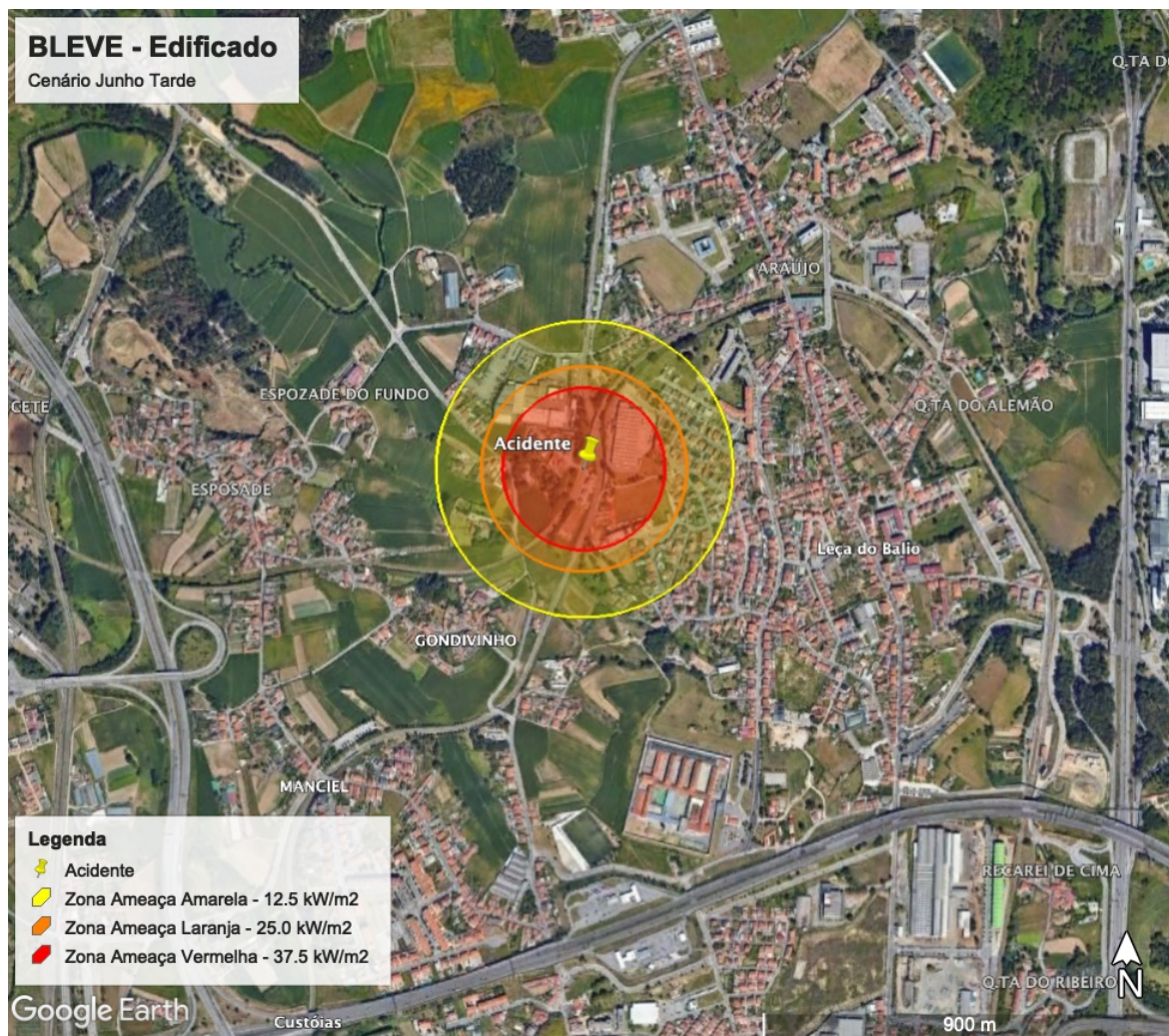


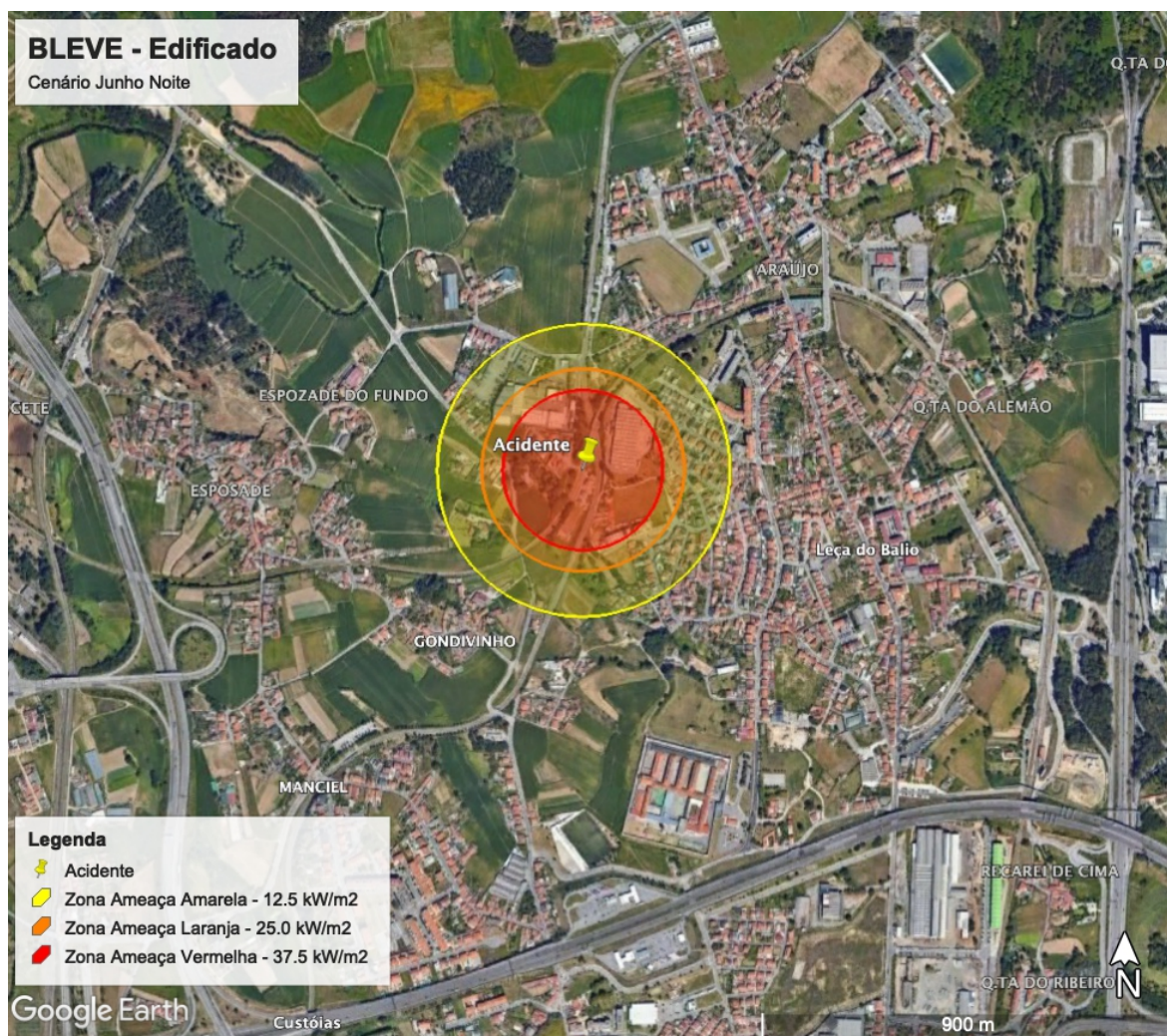


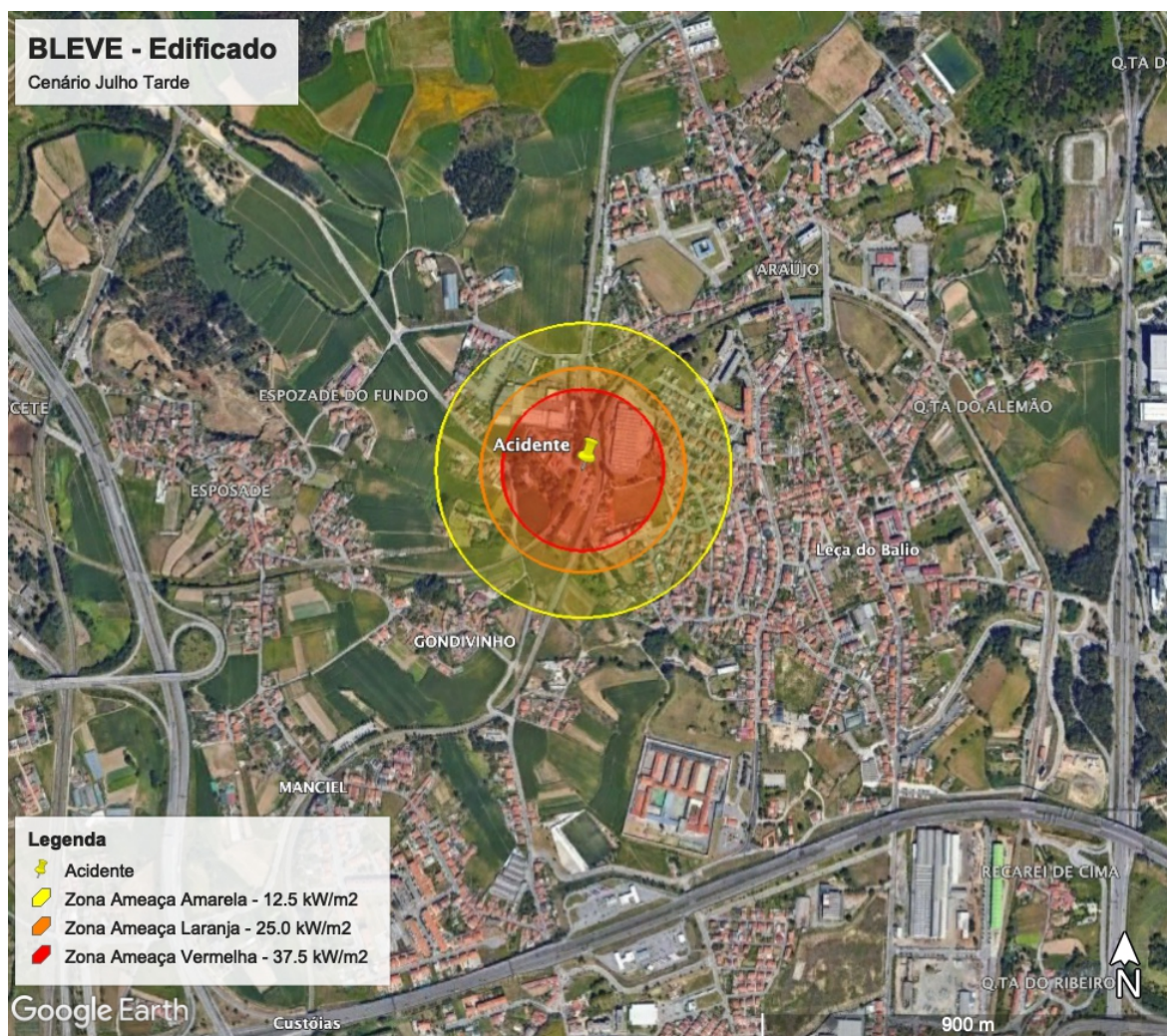


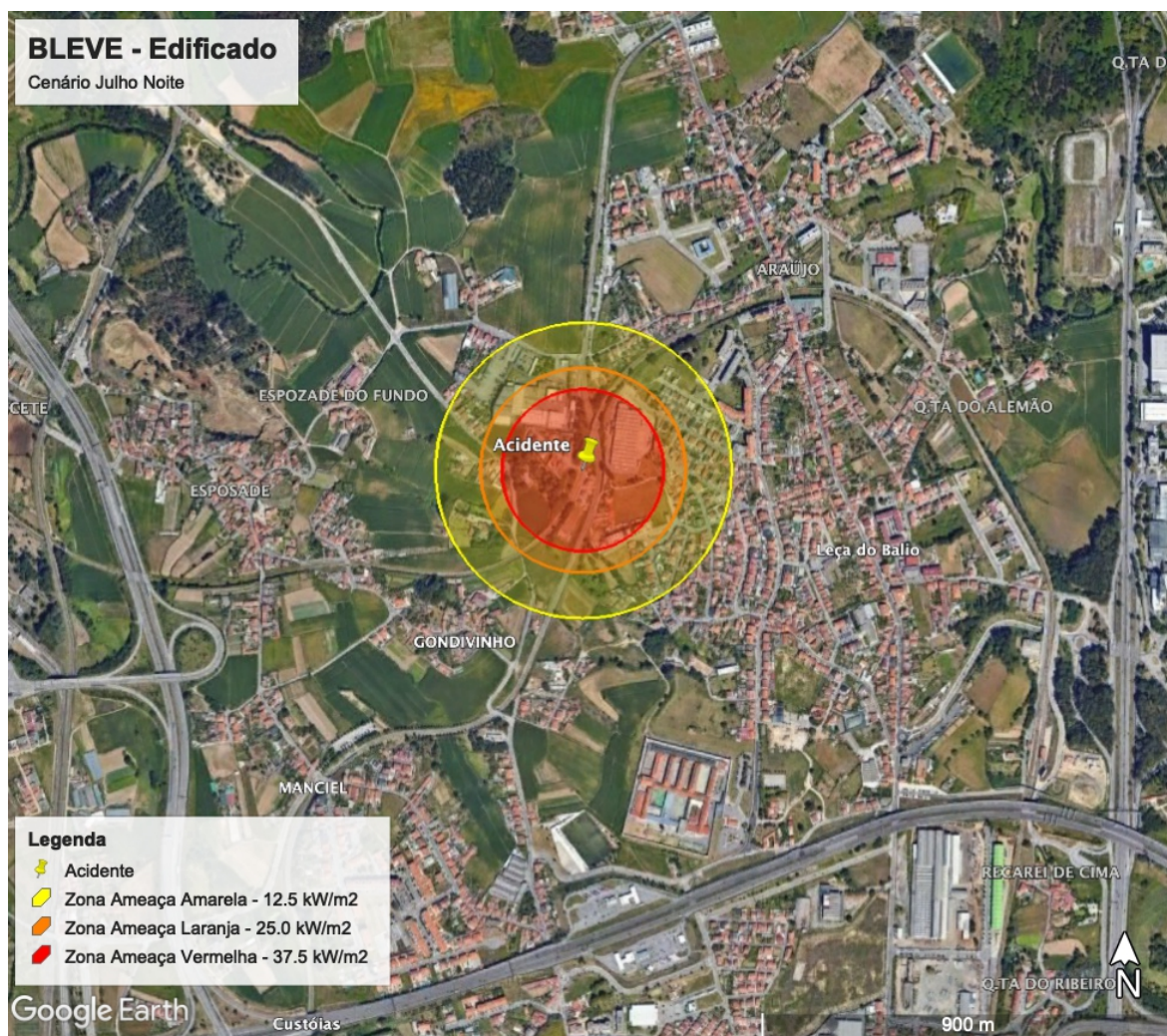


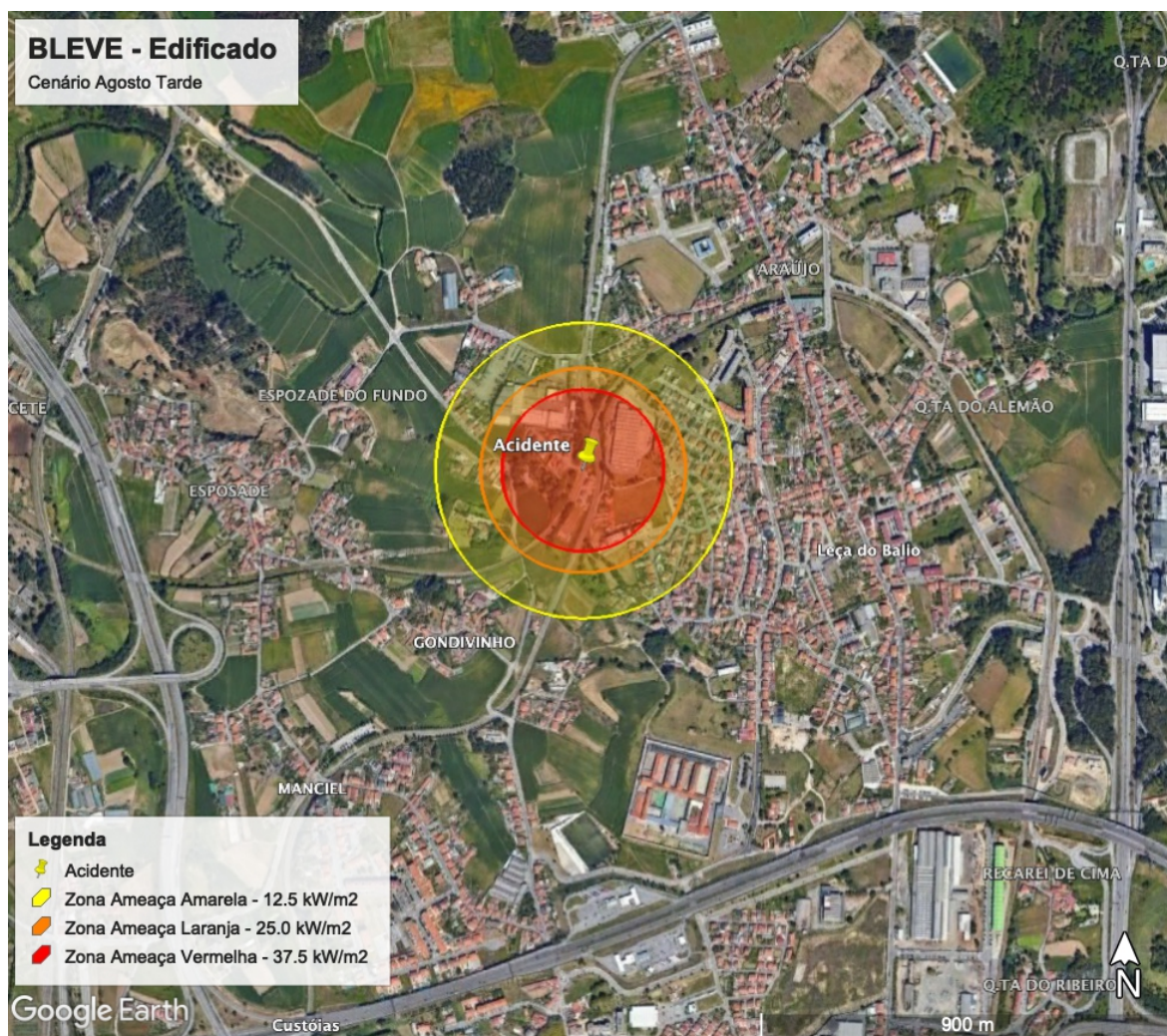


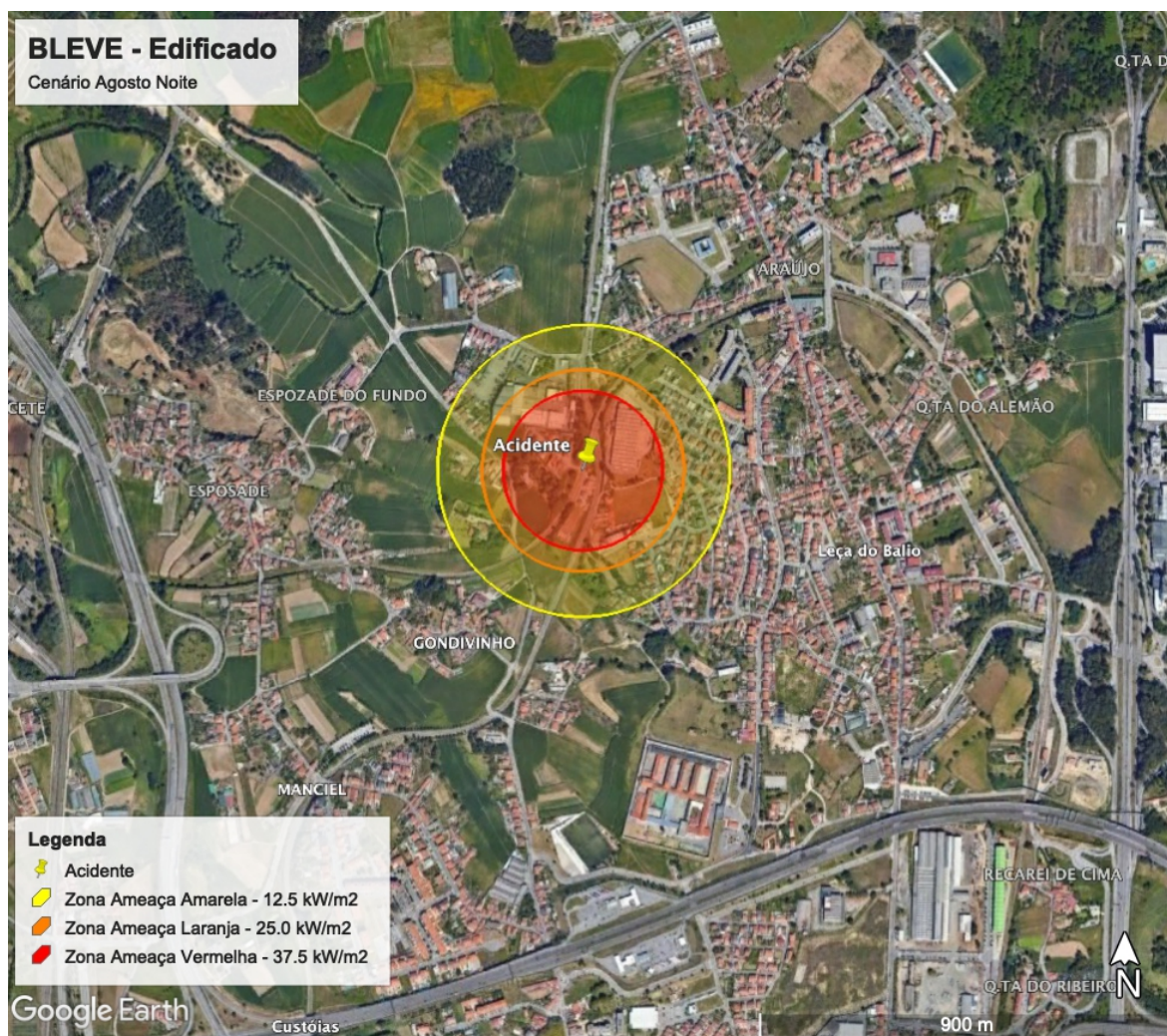


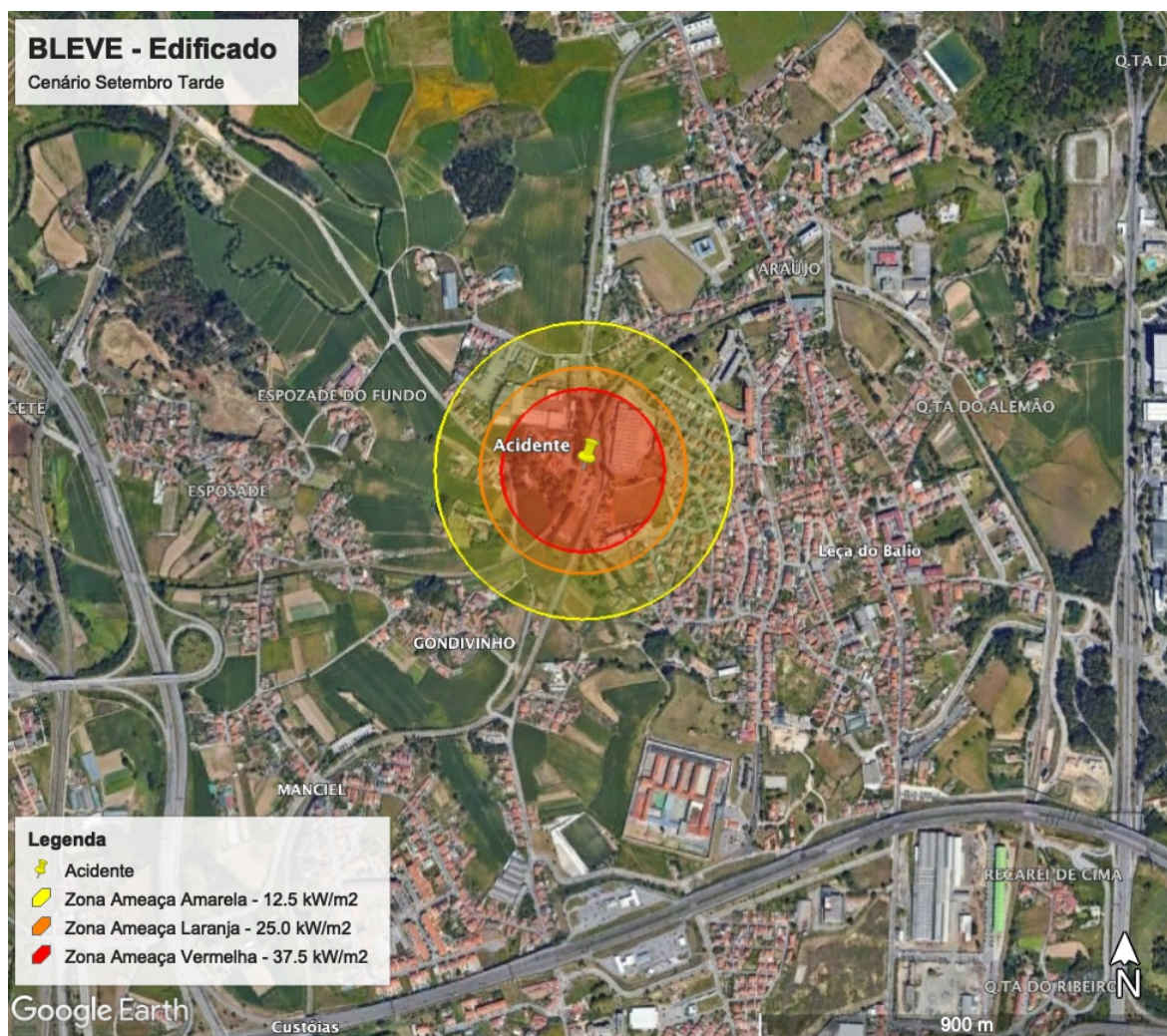


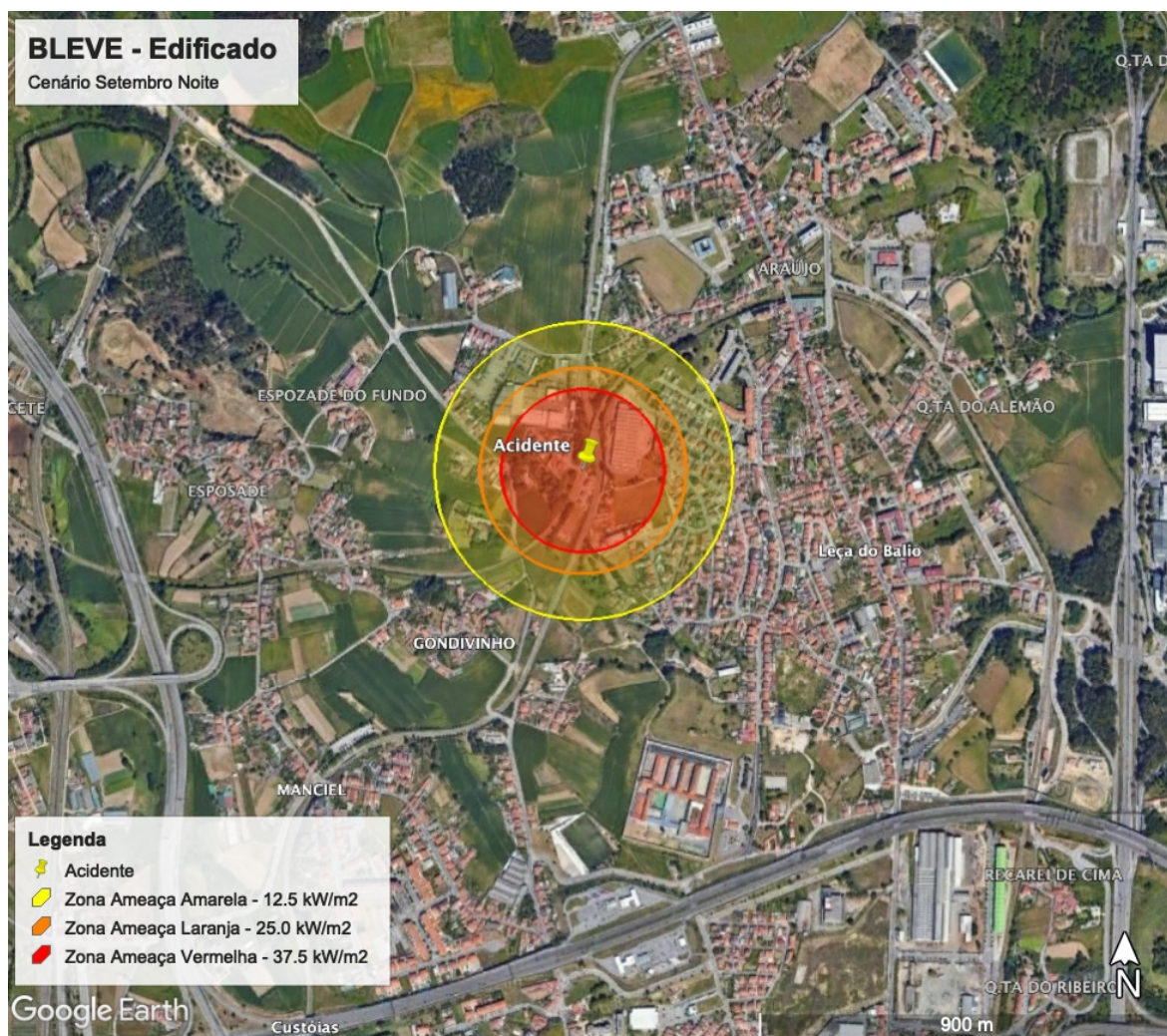


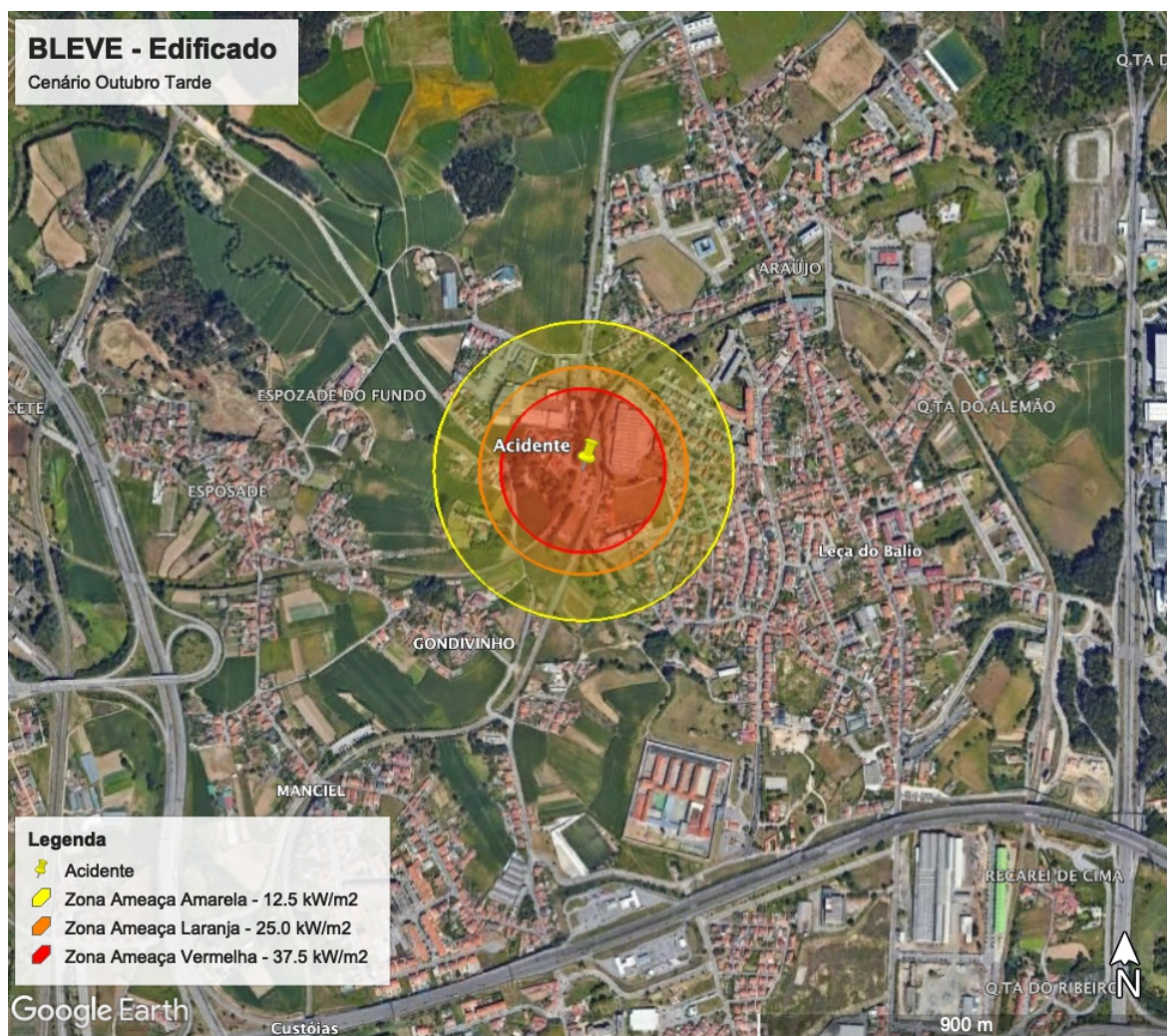


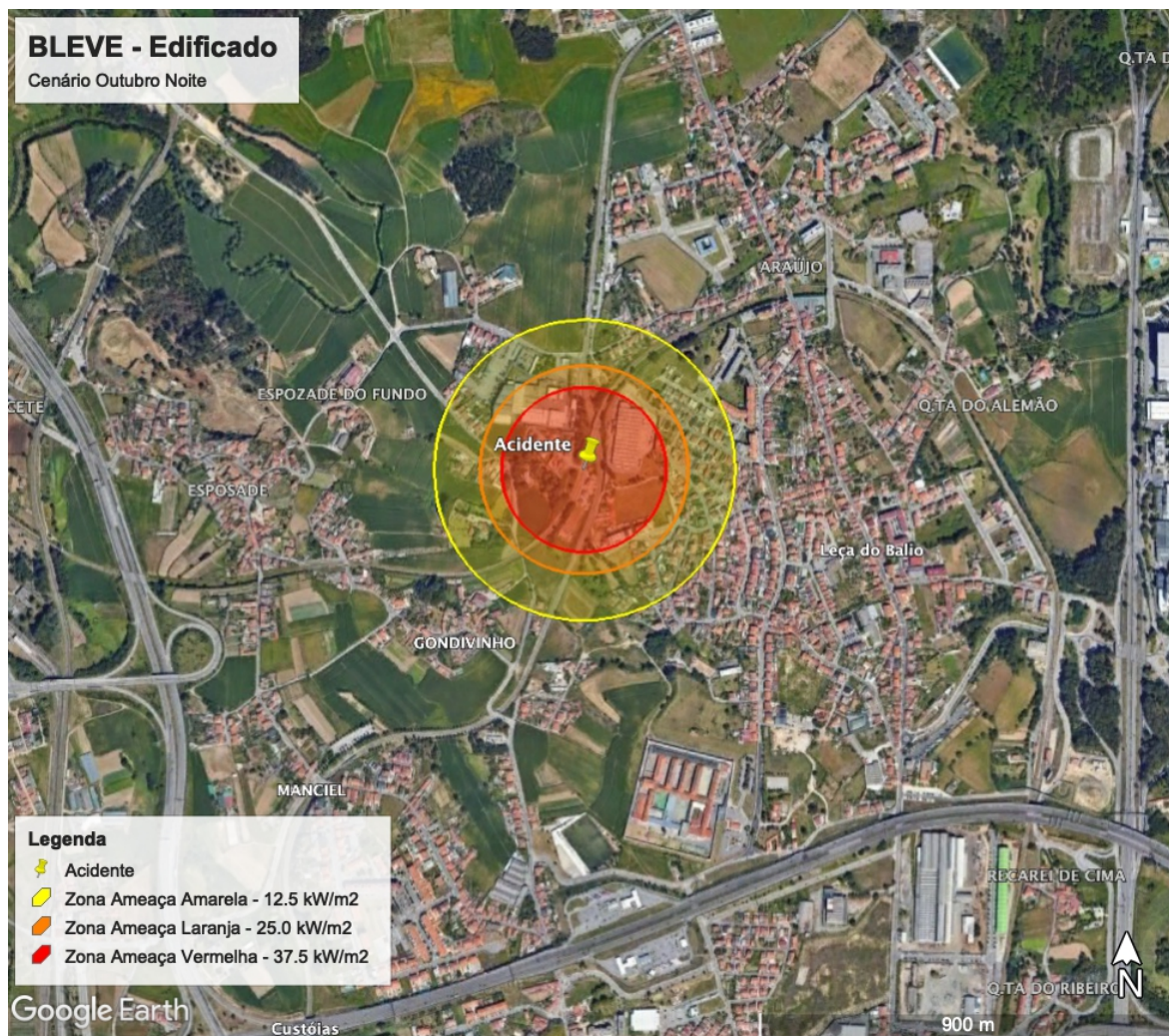


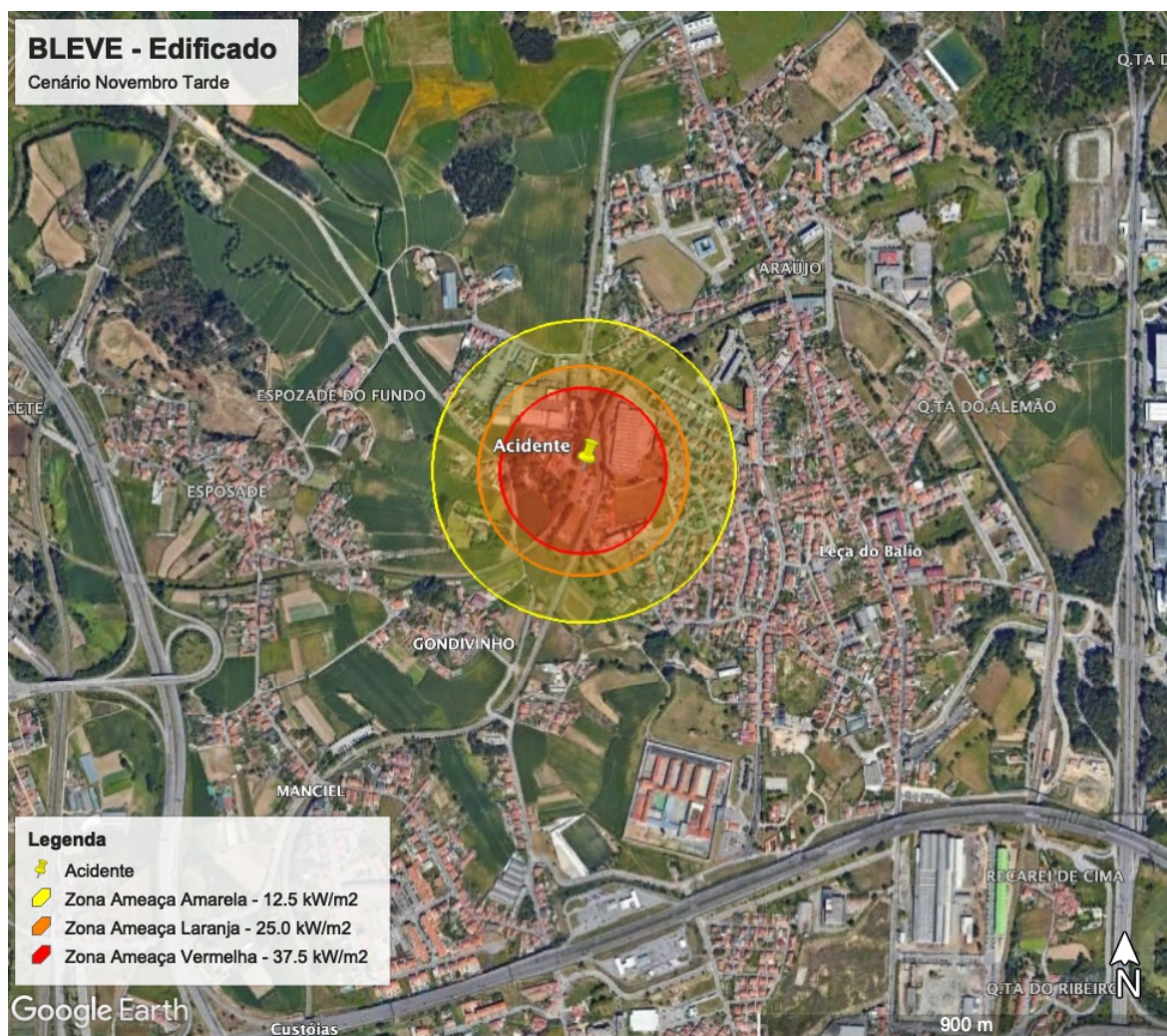


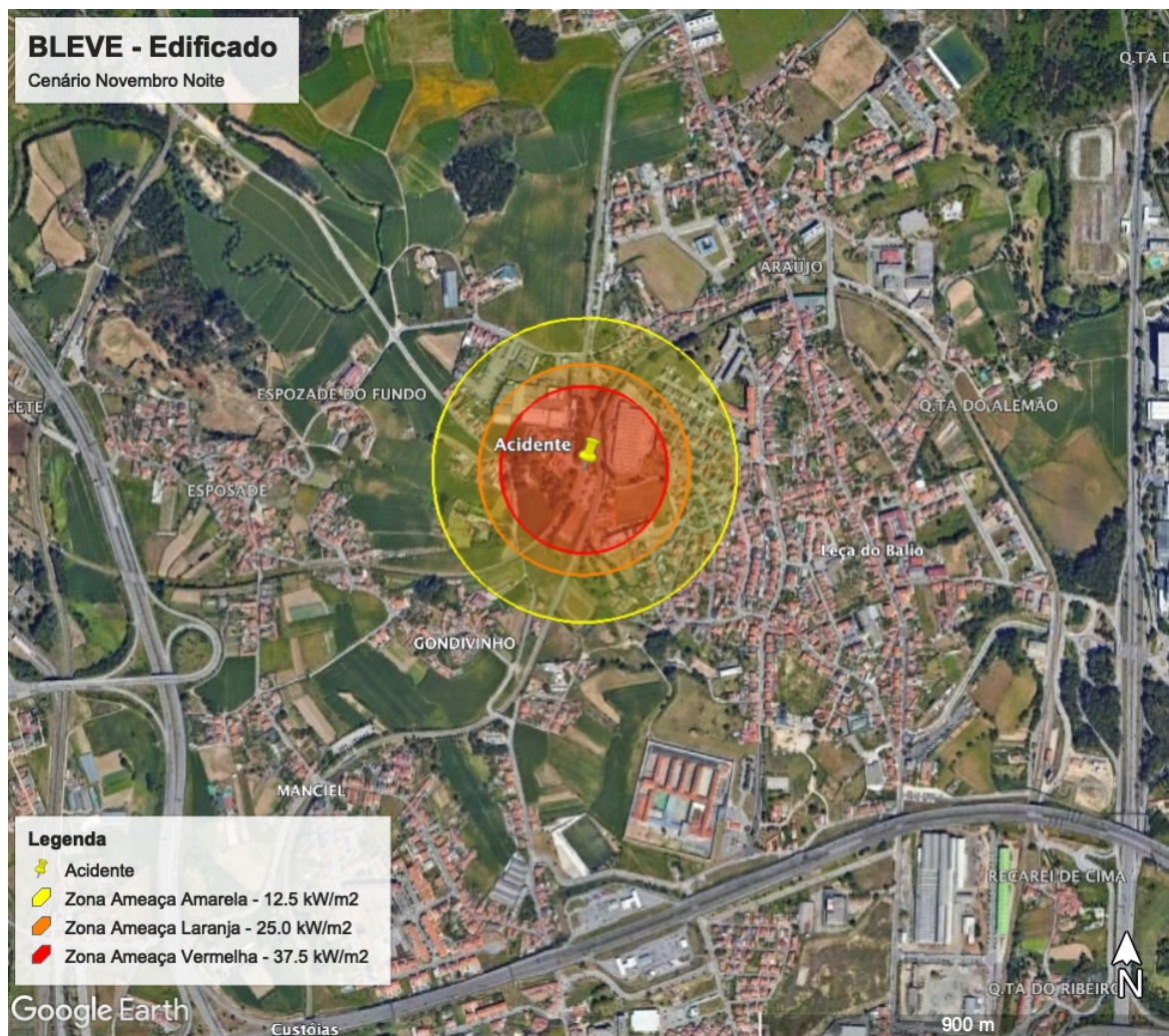


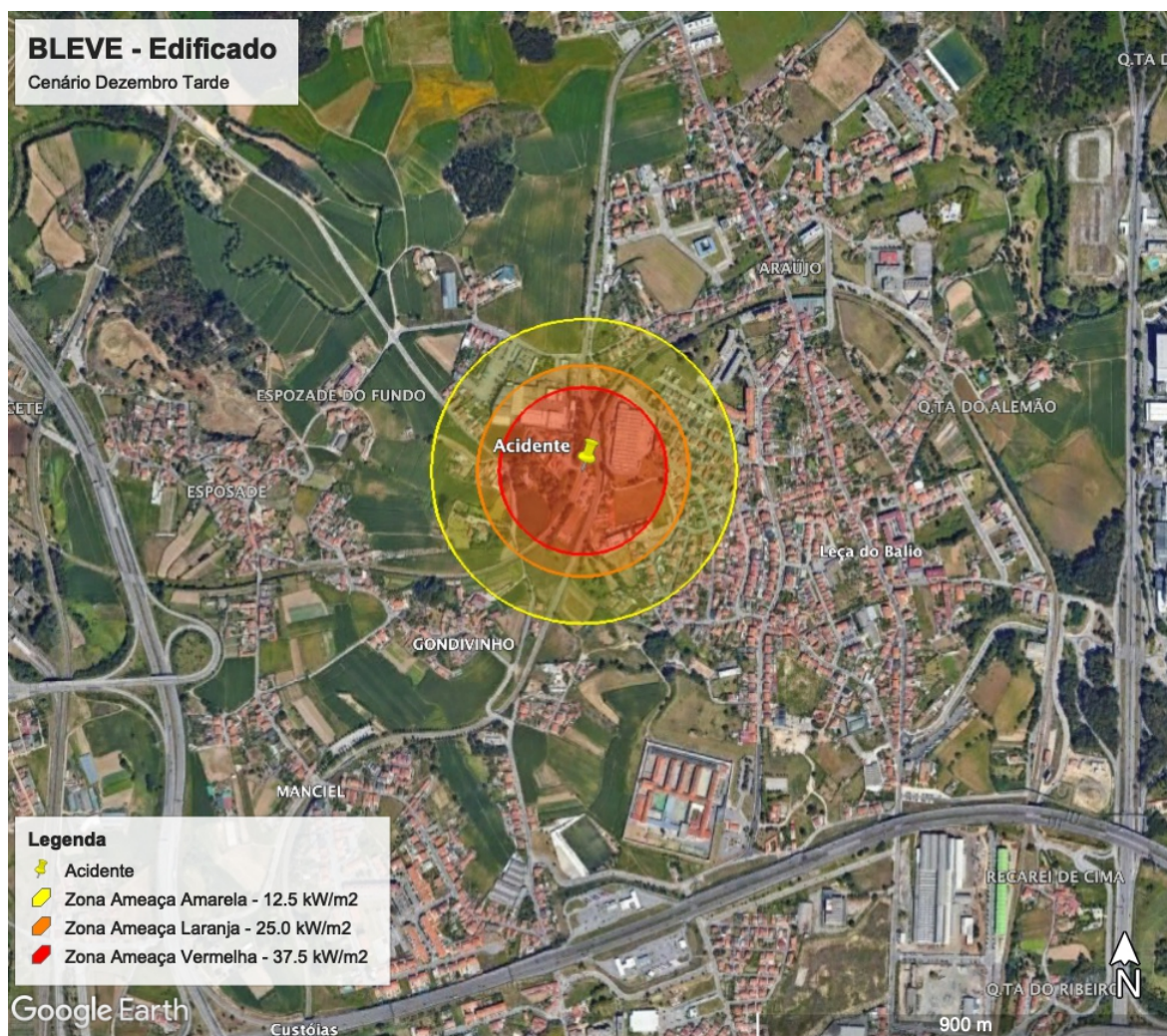


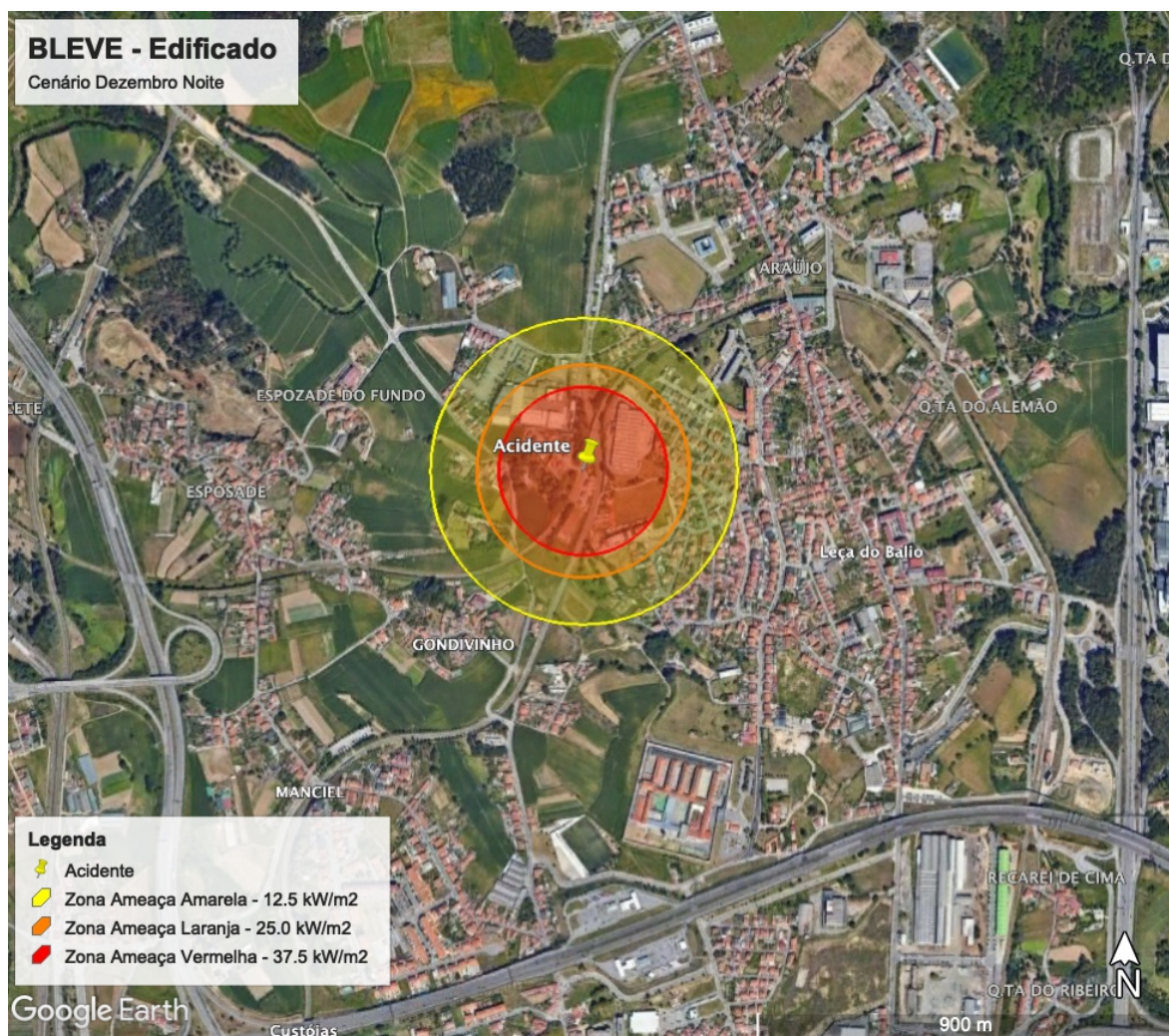




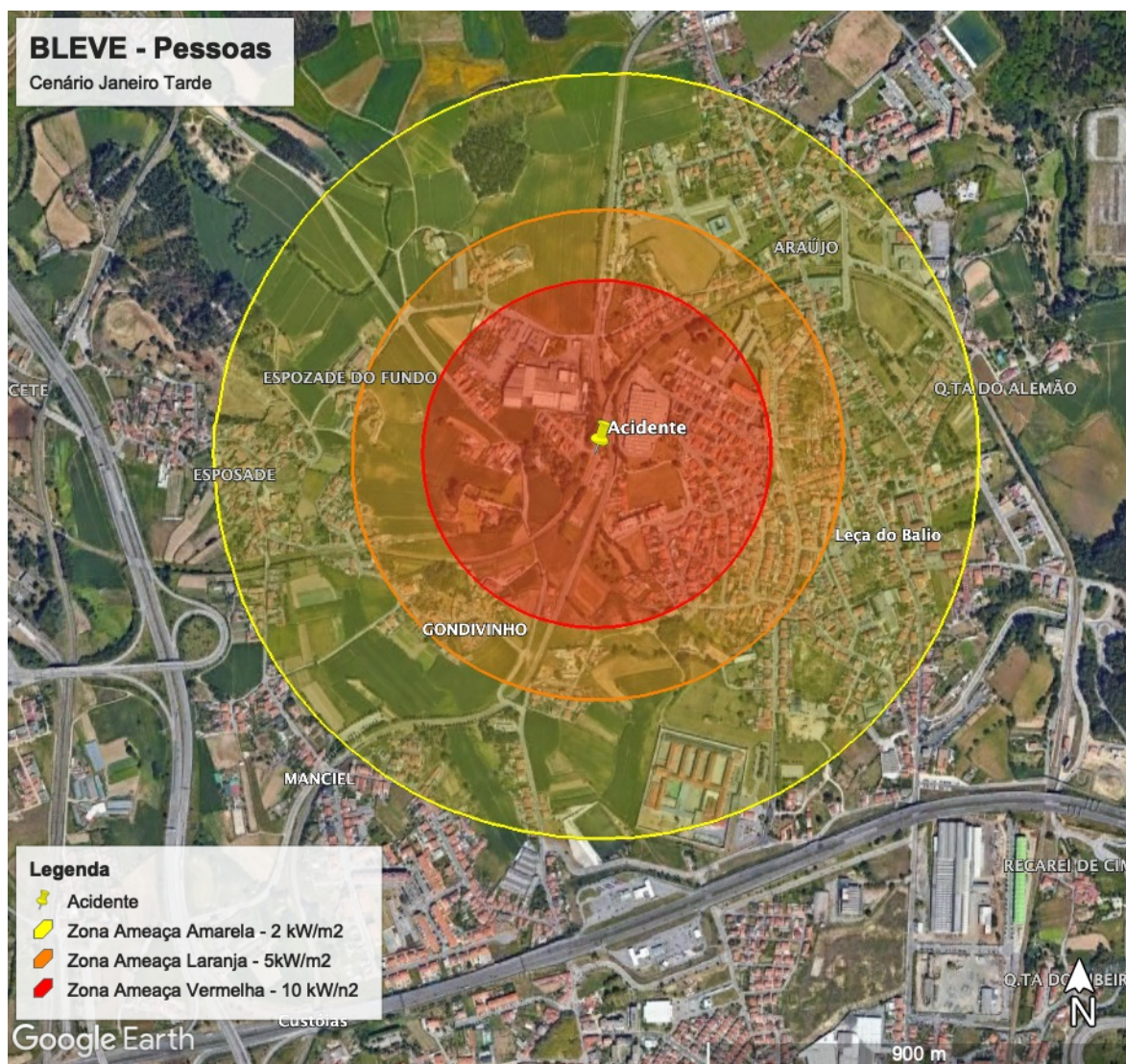


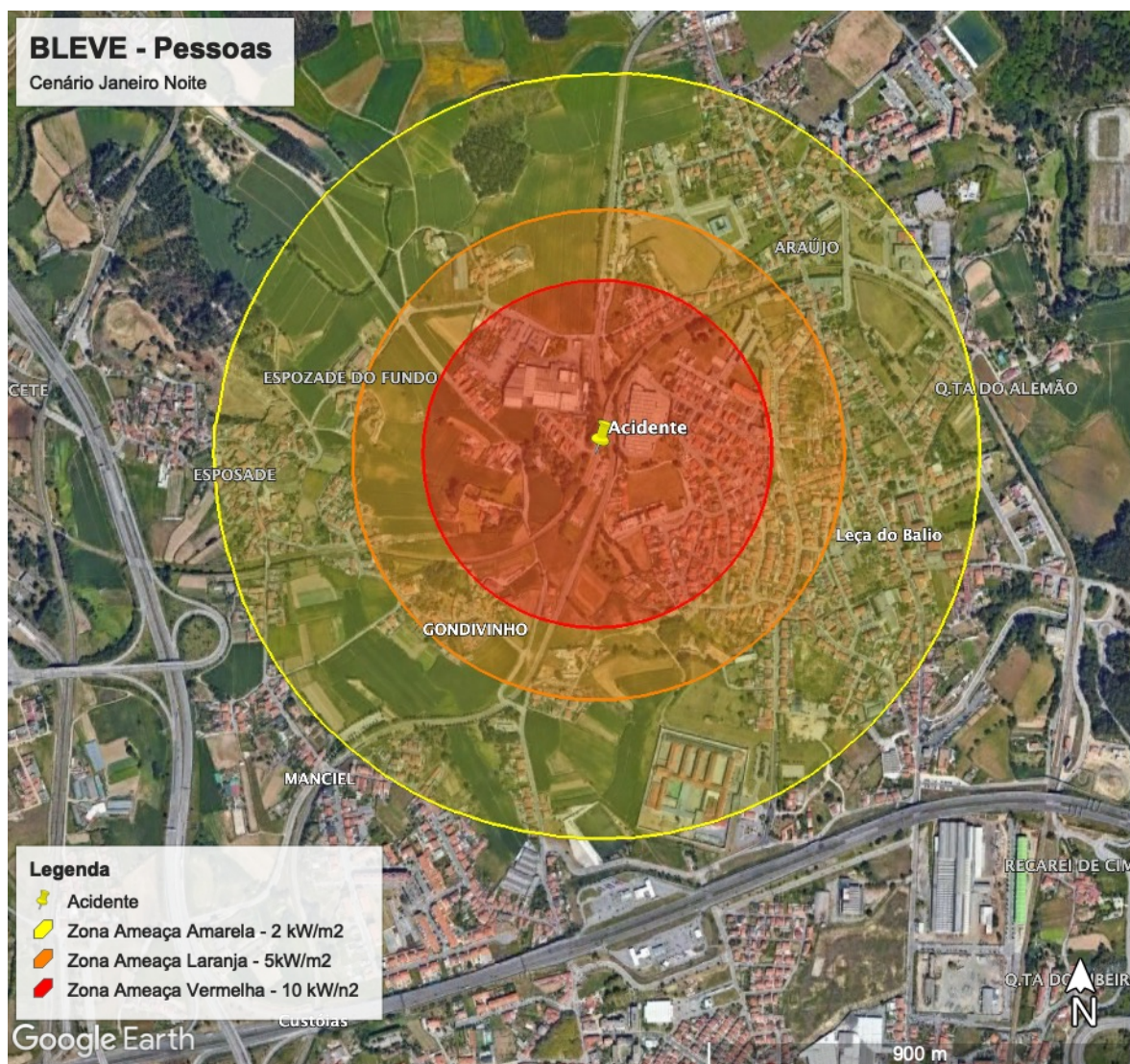


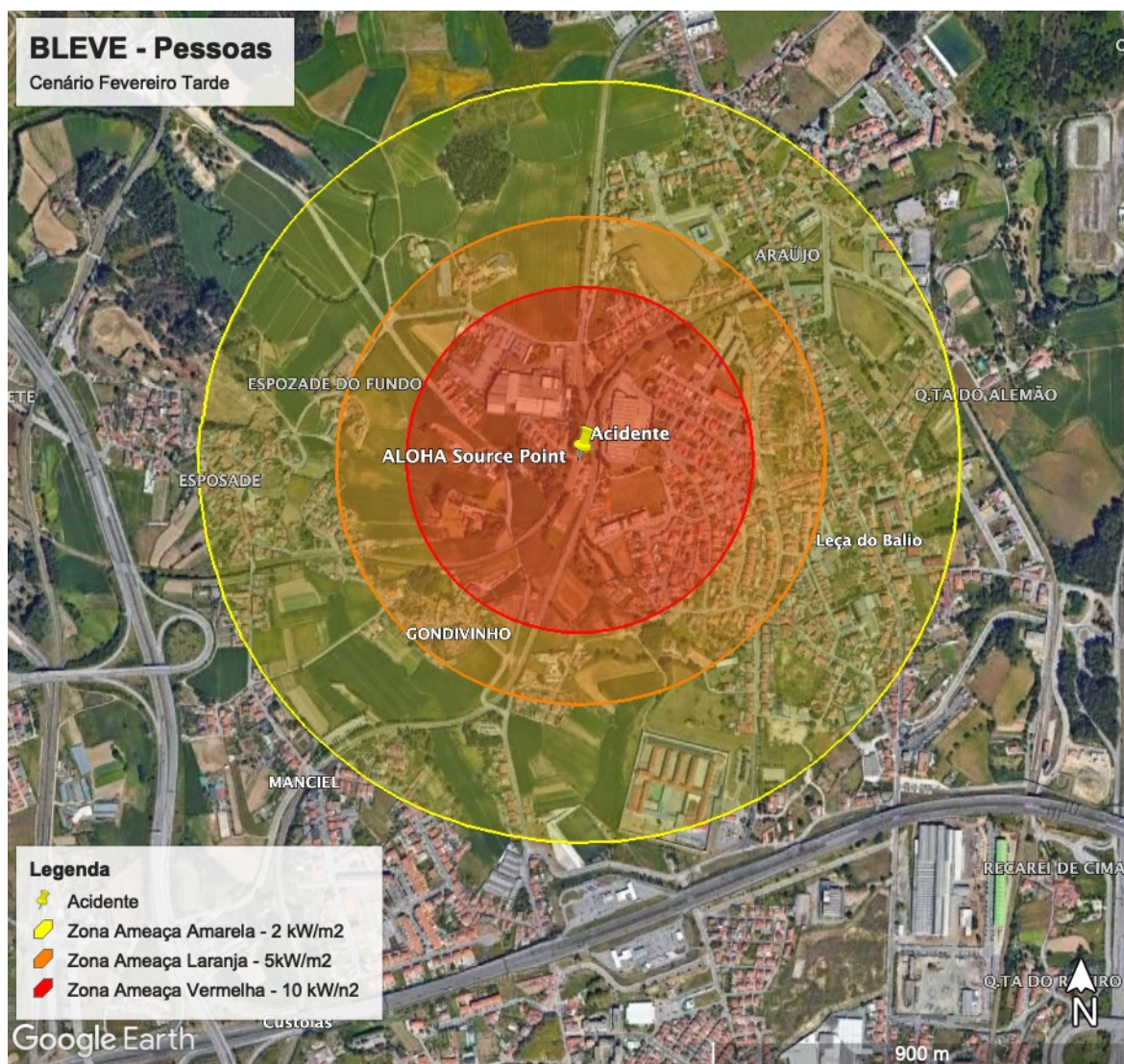


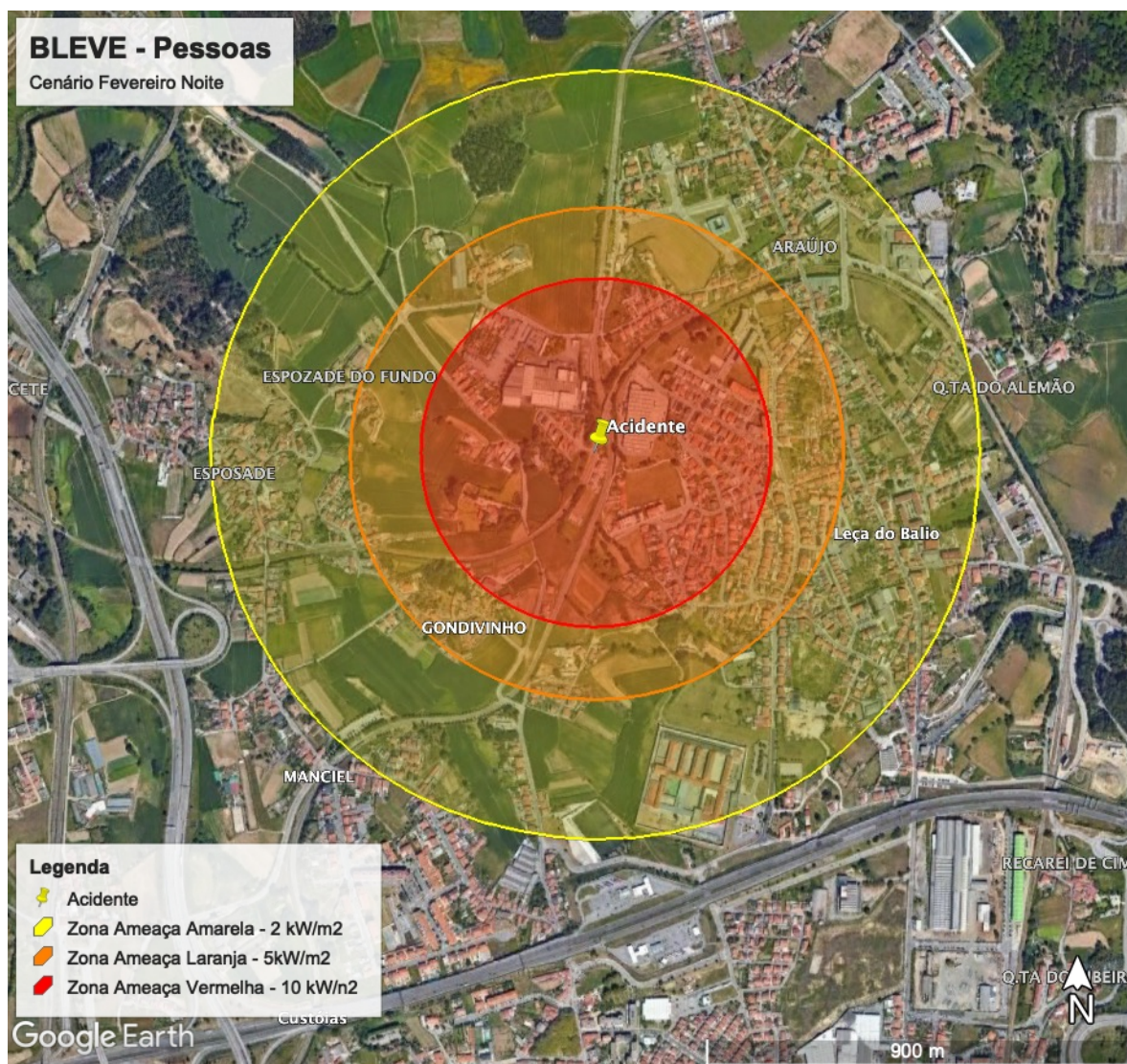


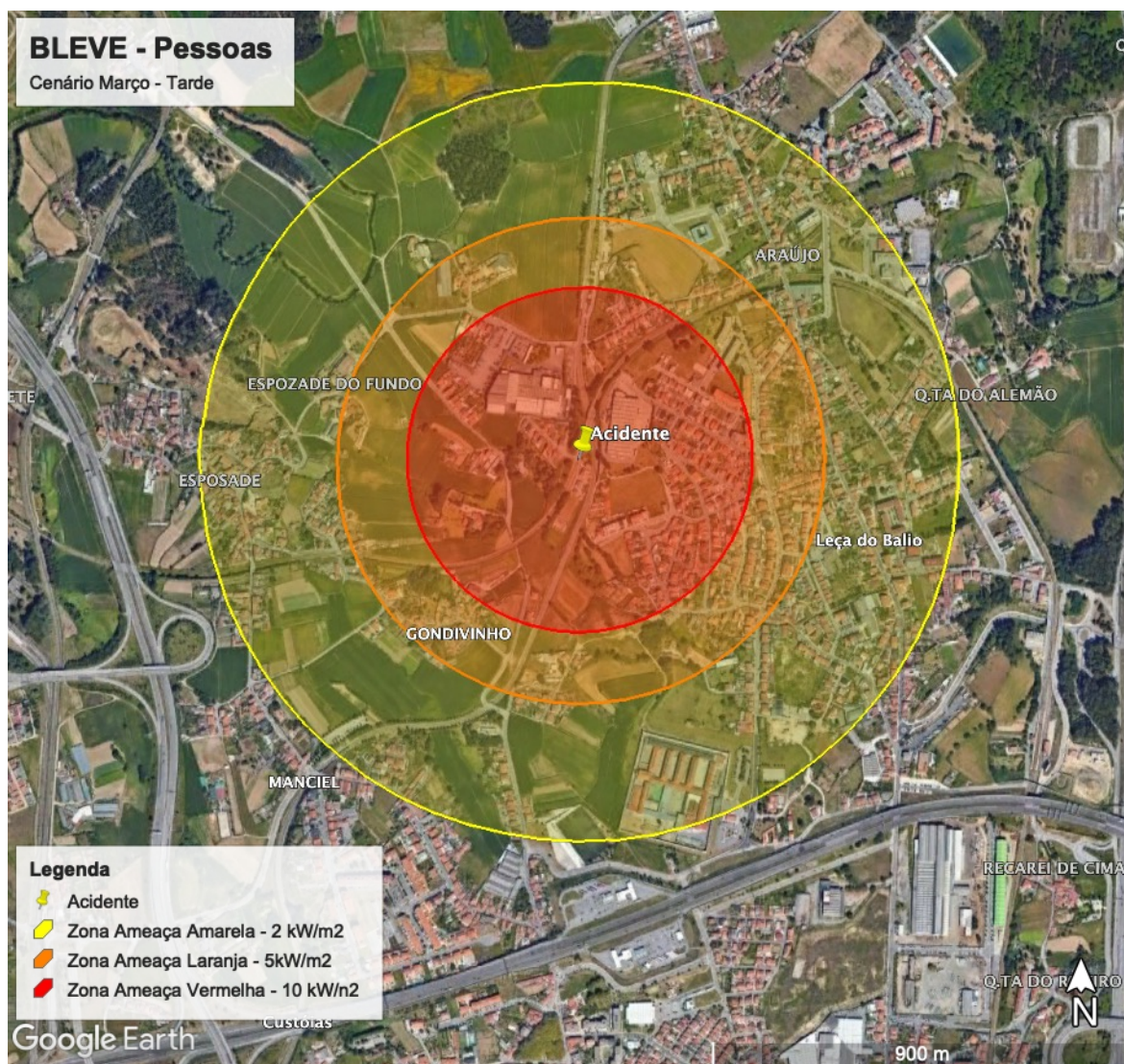
Pessoas

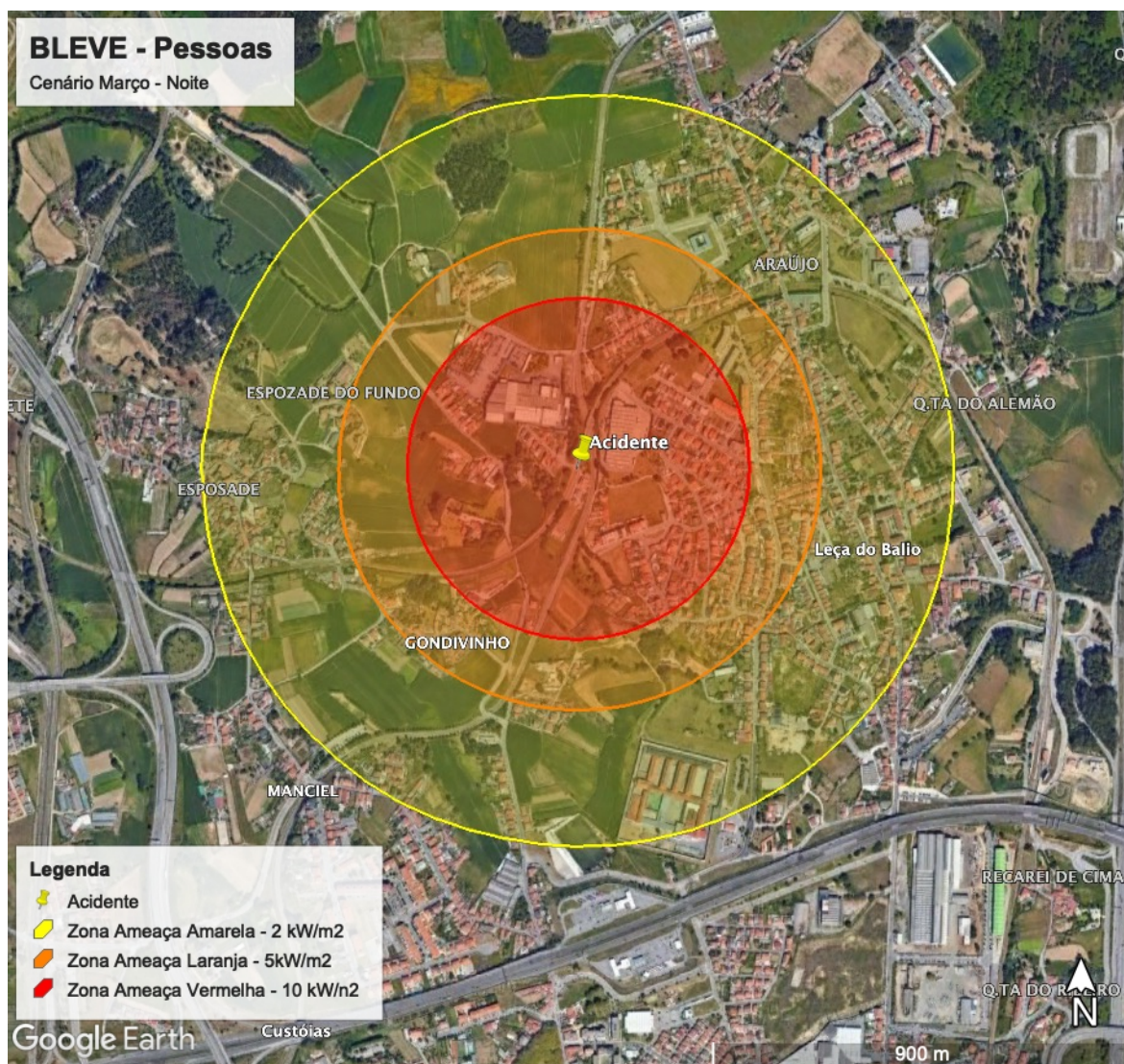


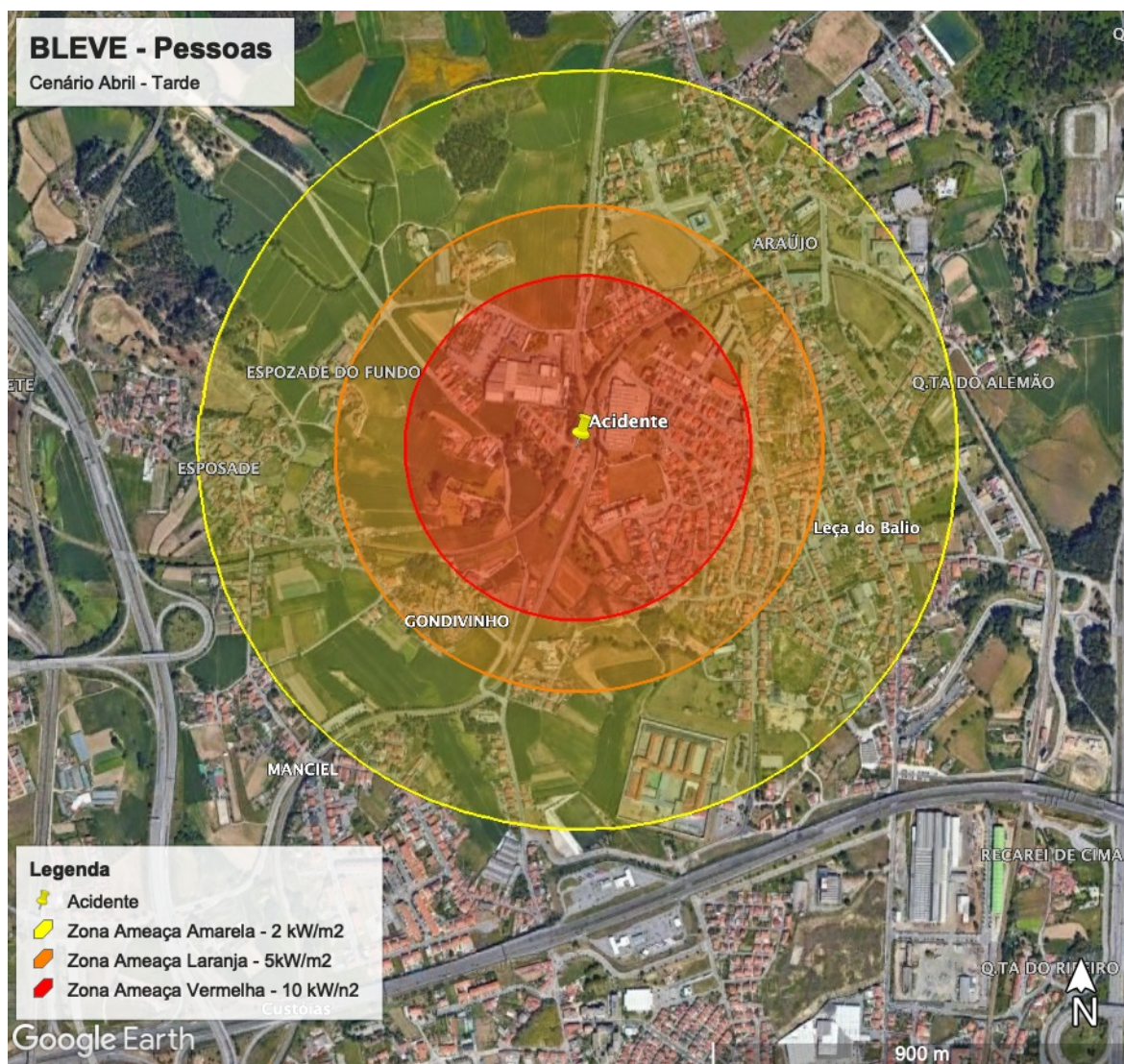


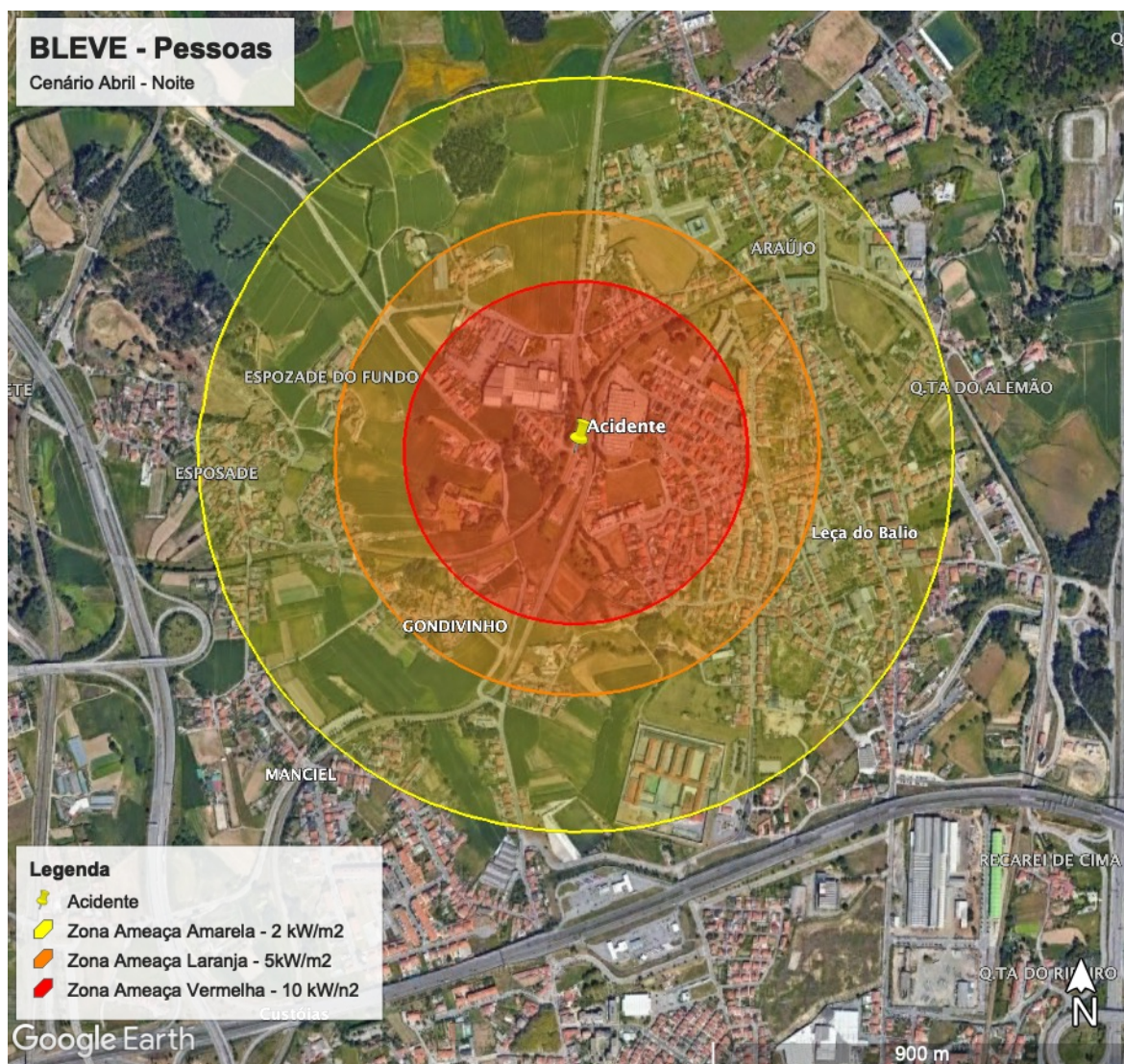


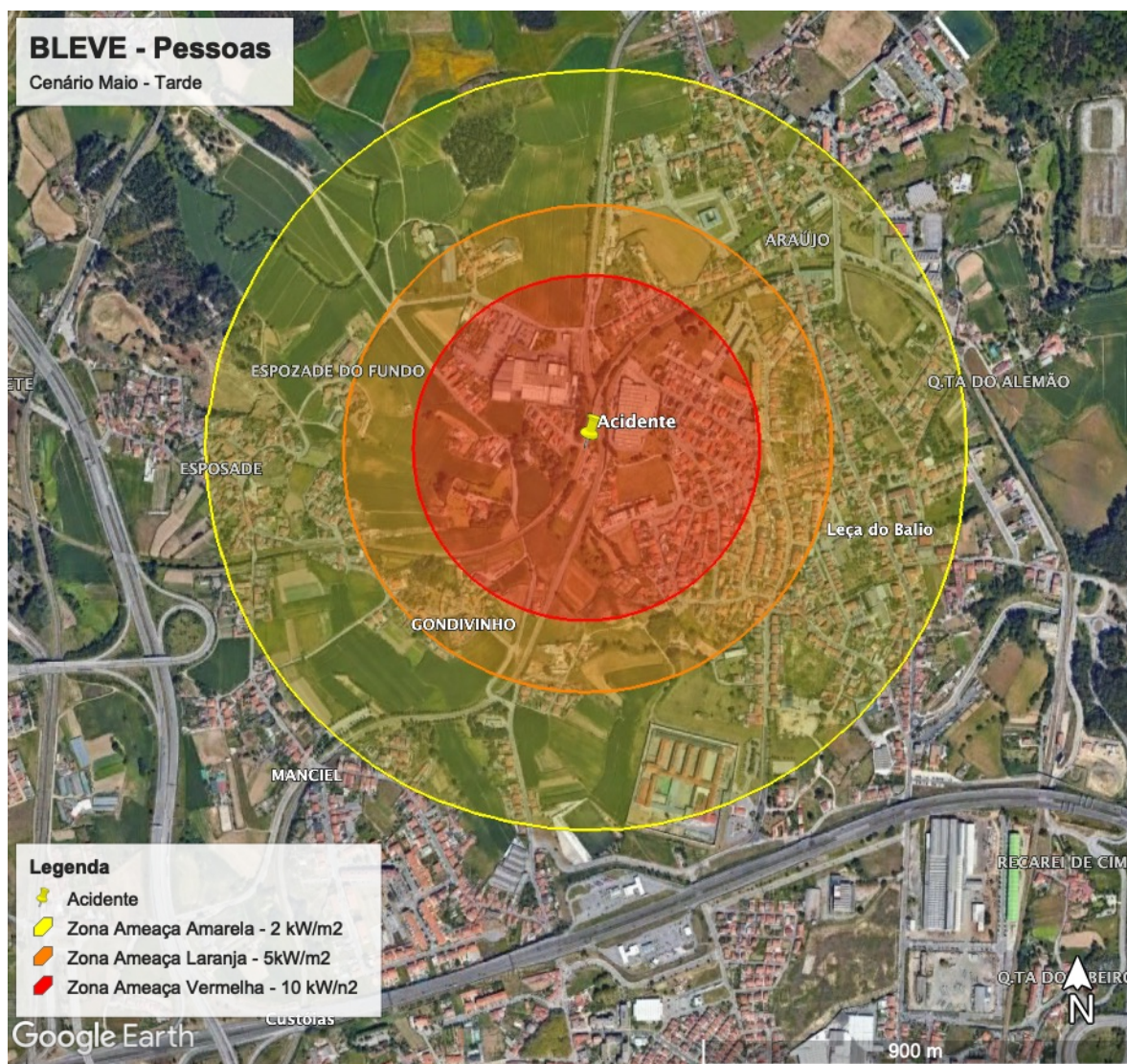


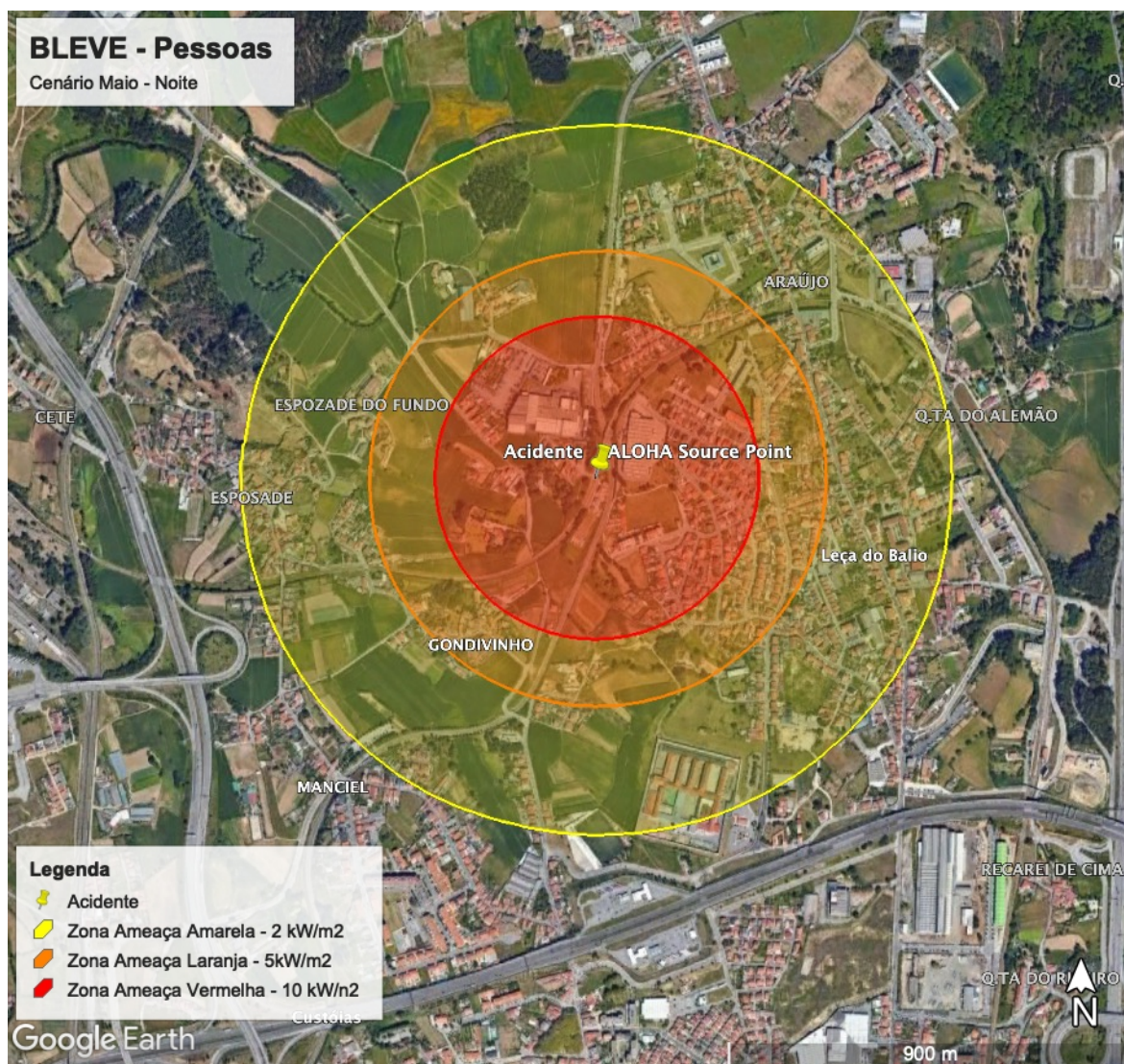


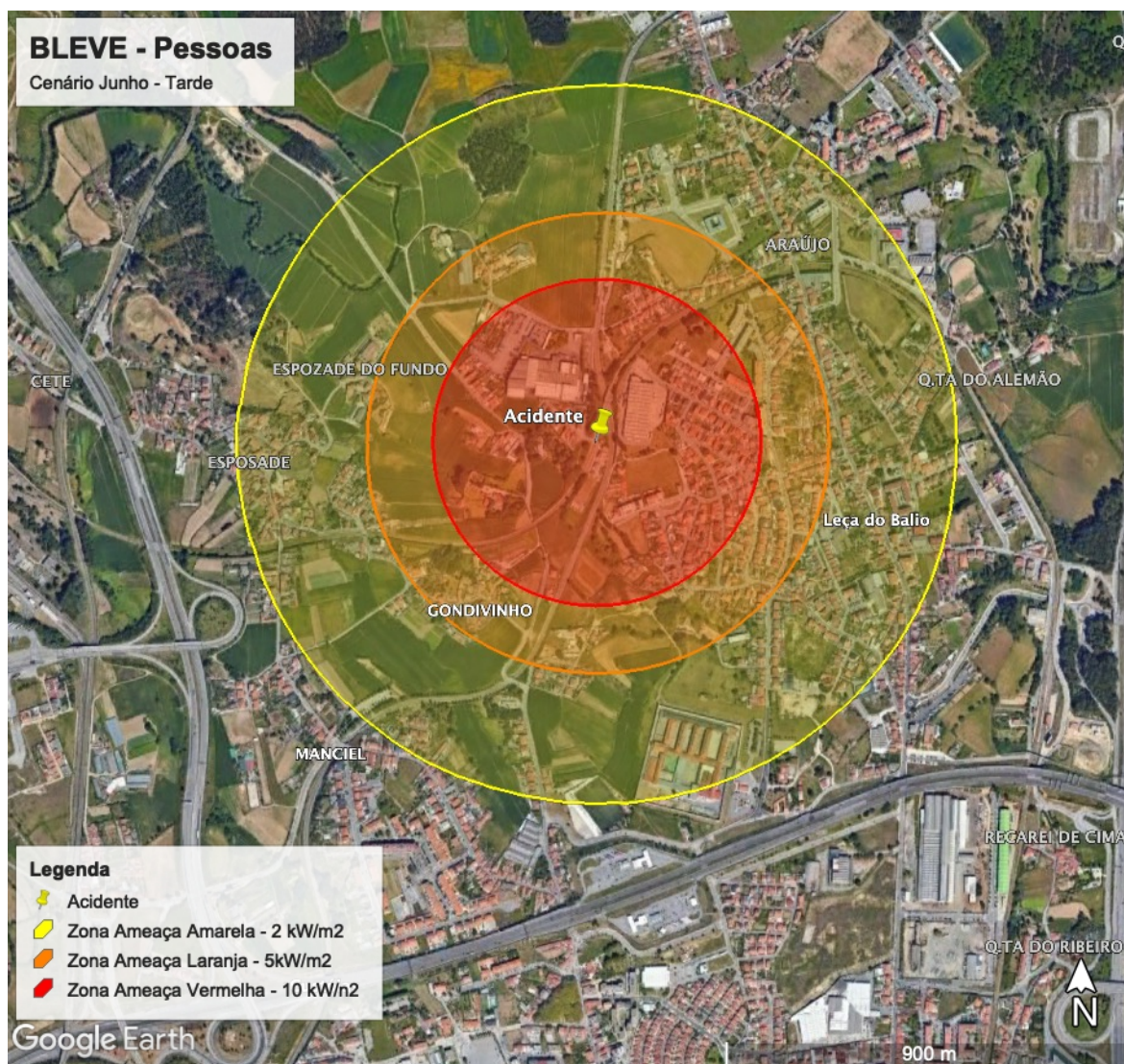


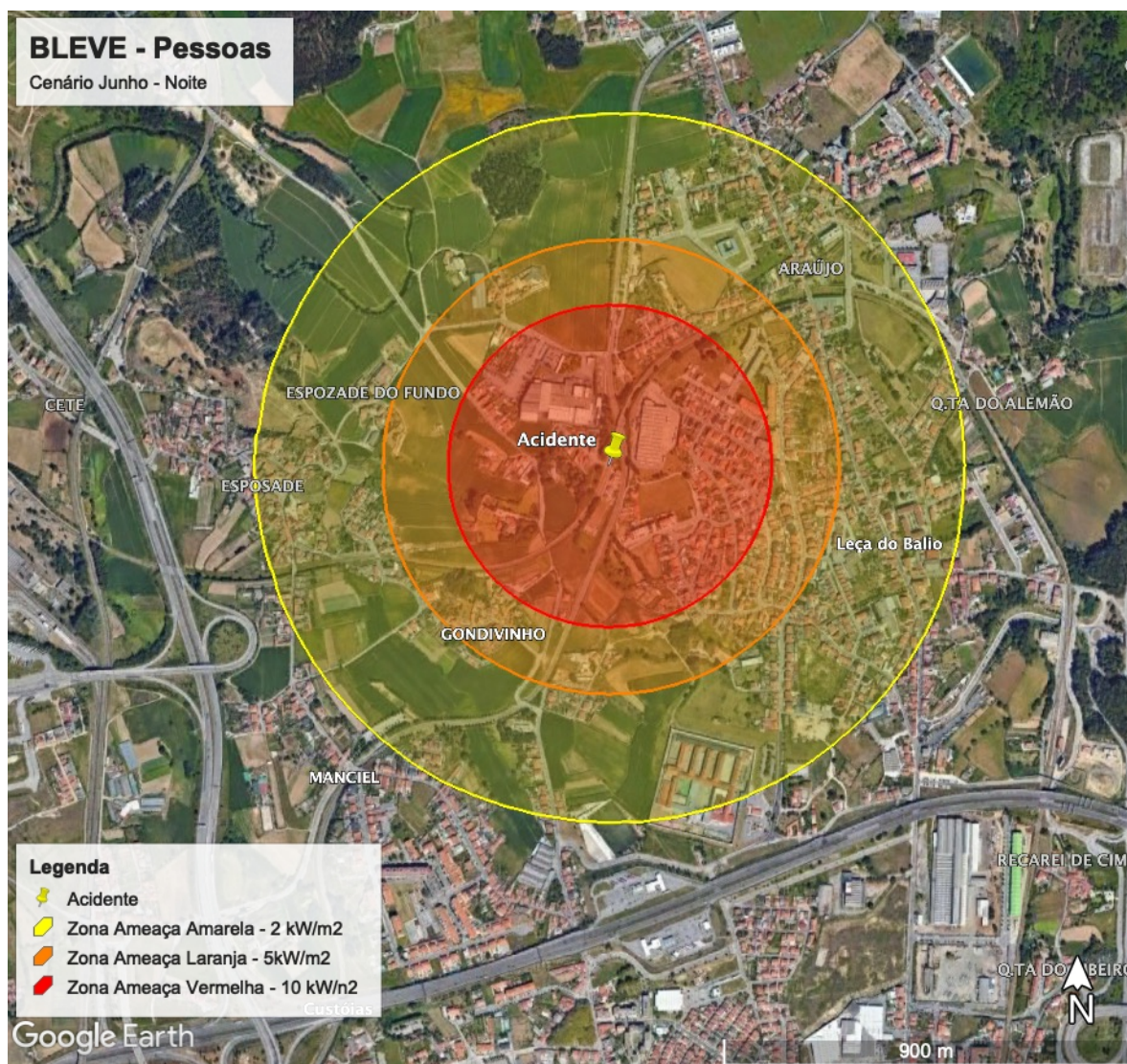


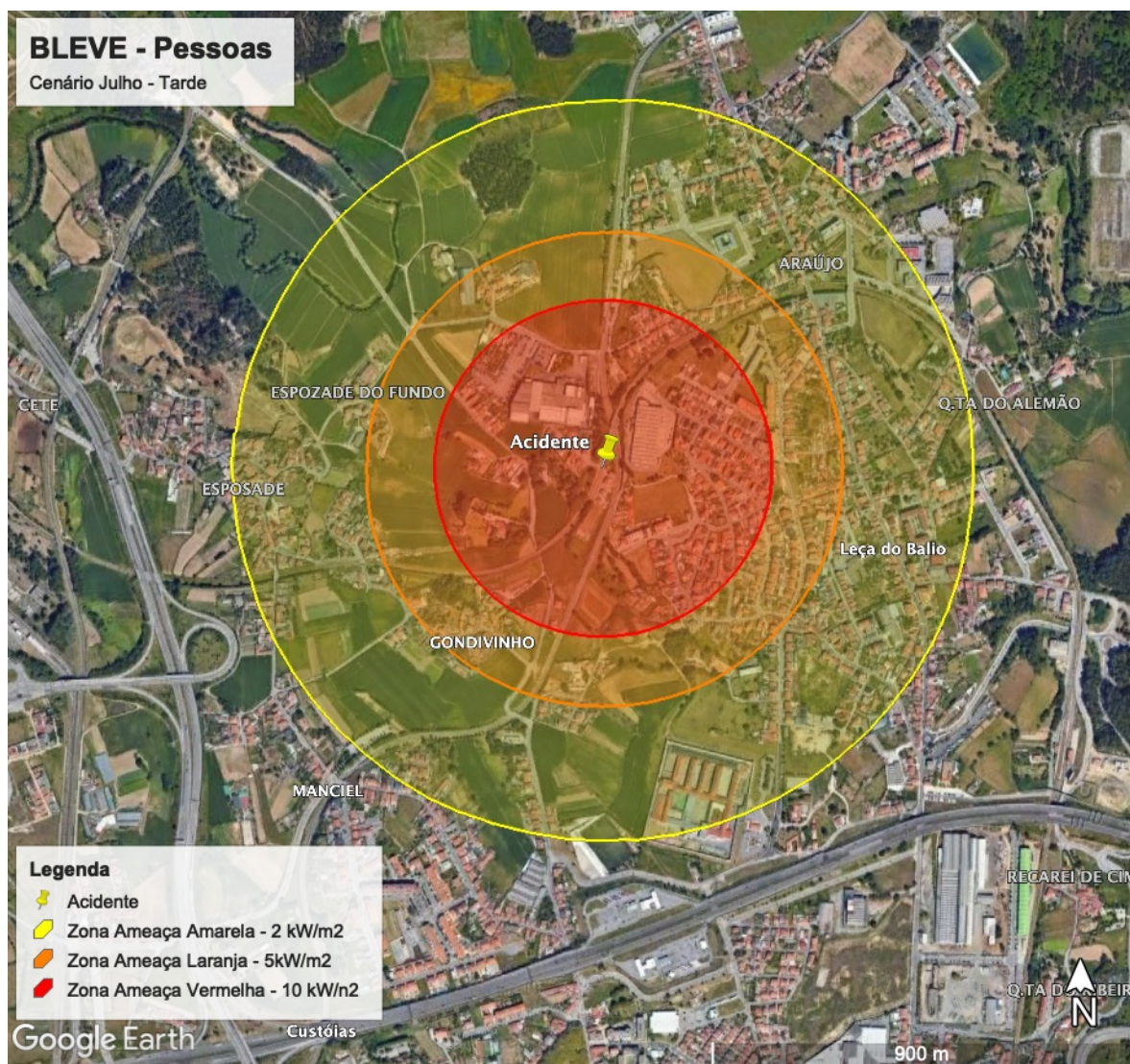


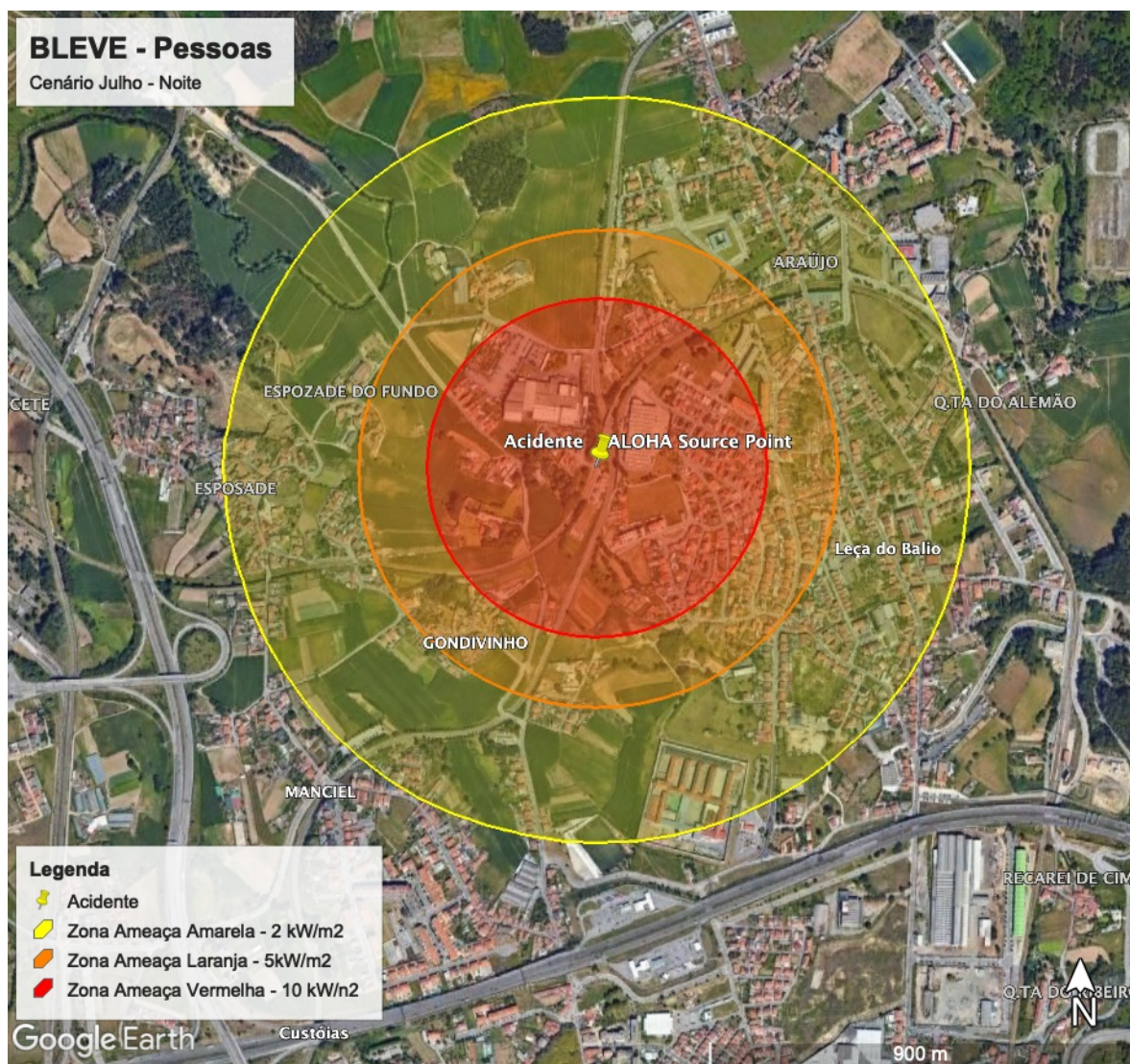


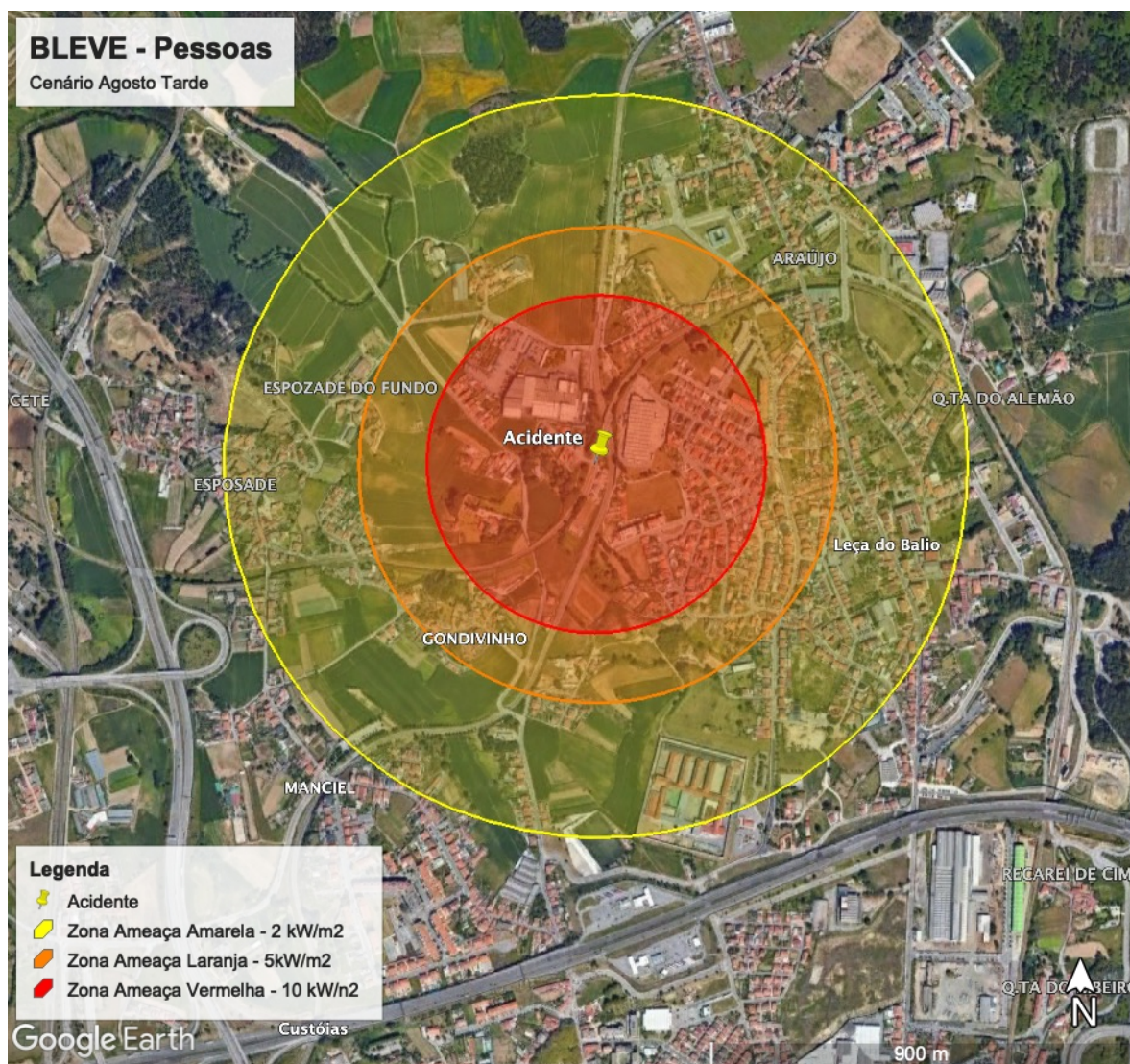


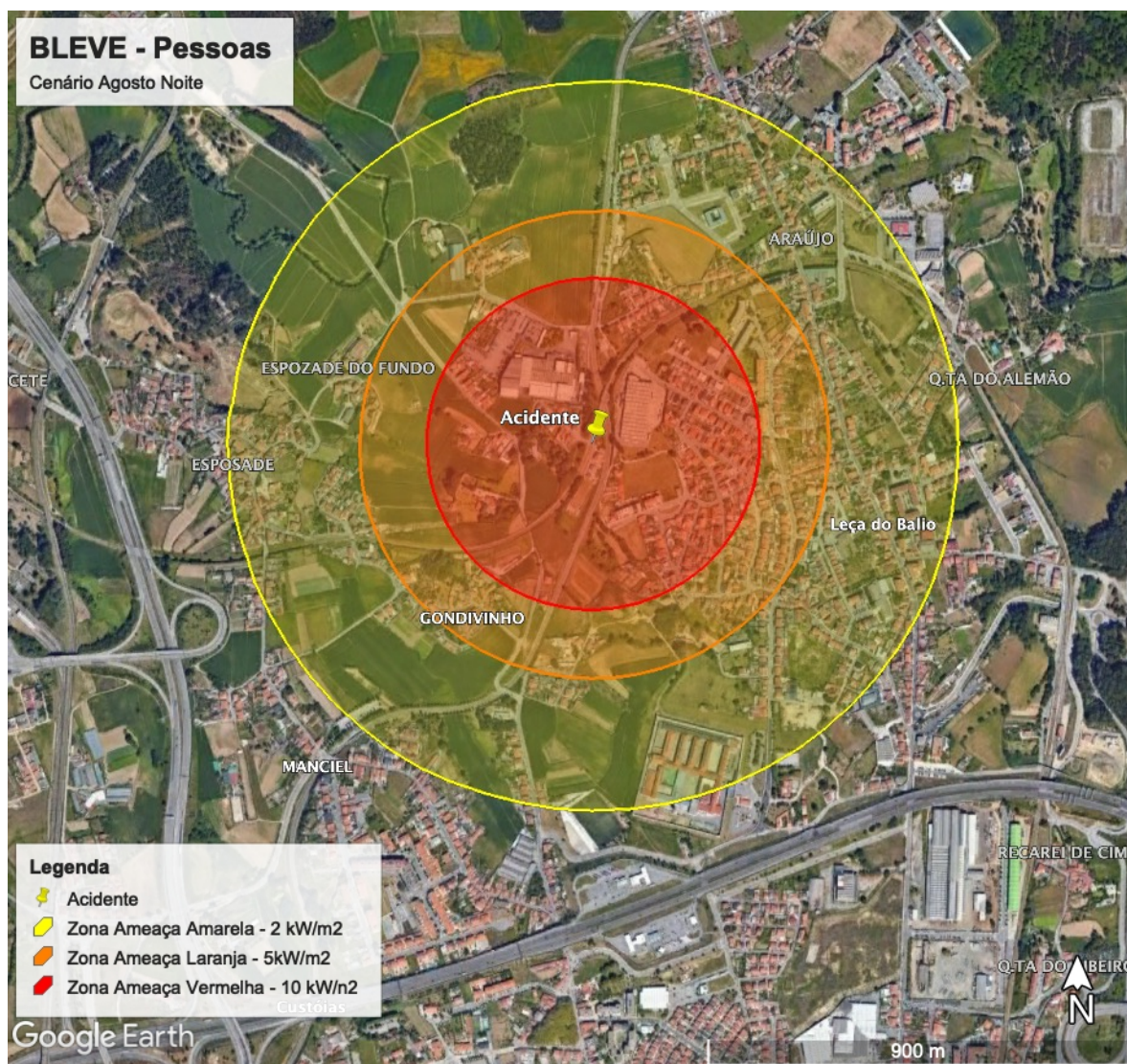


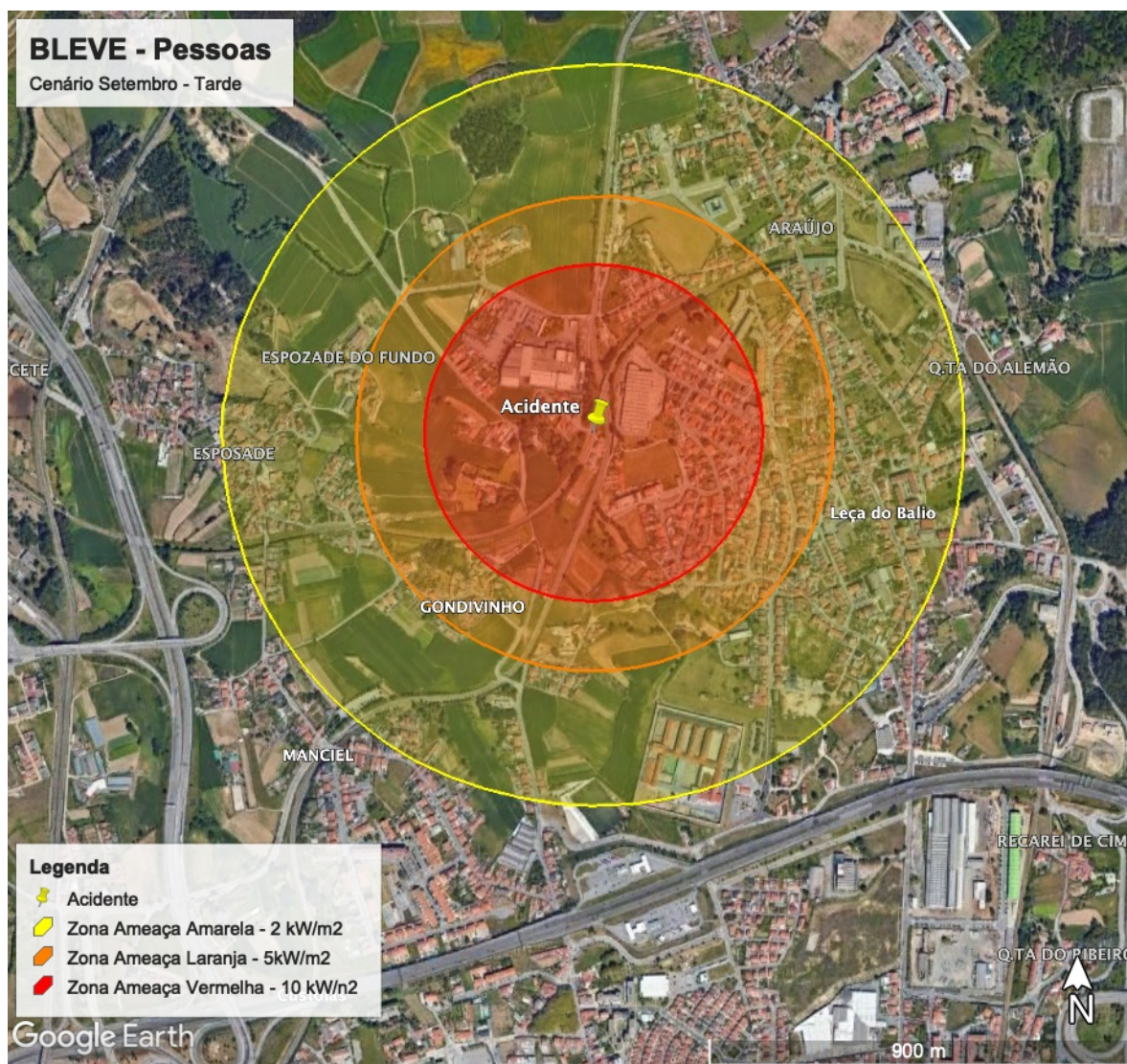


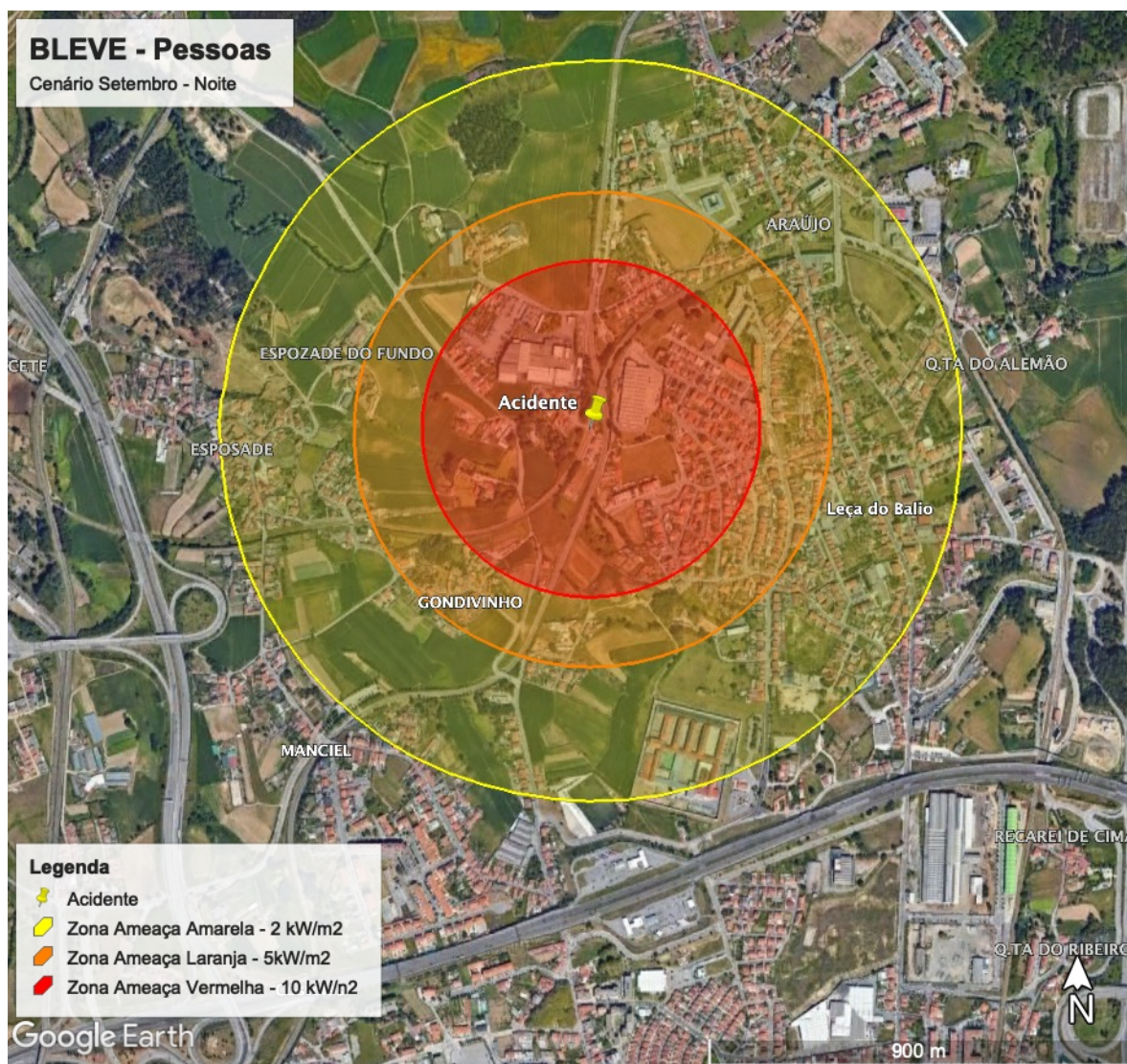


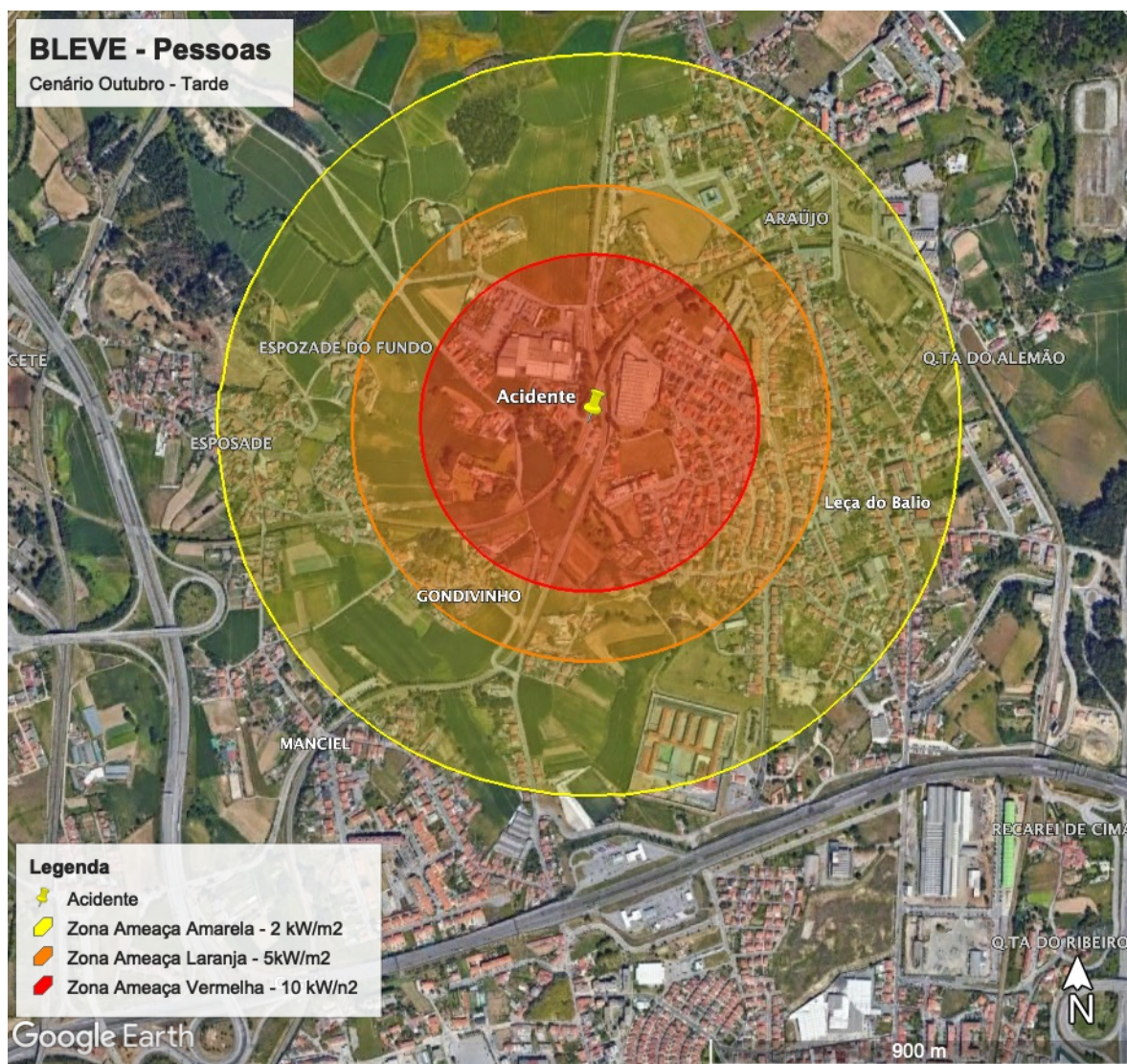


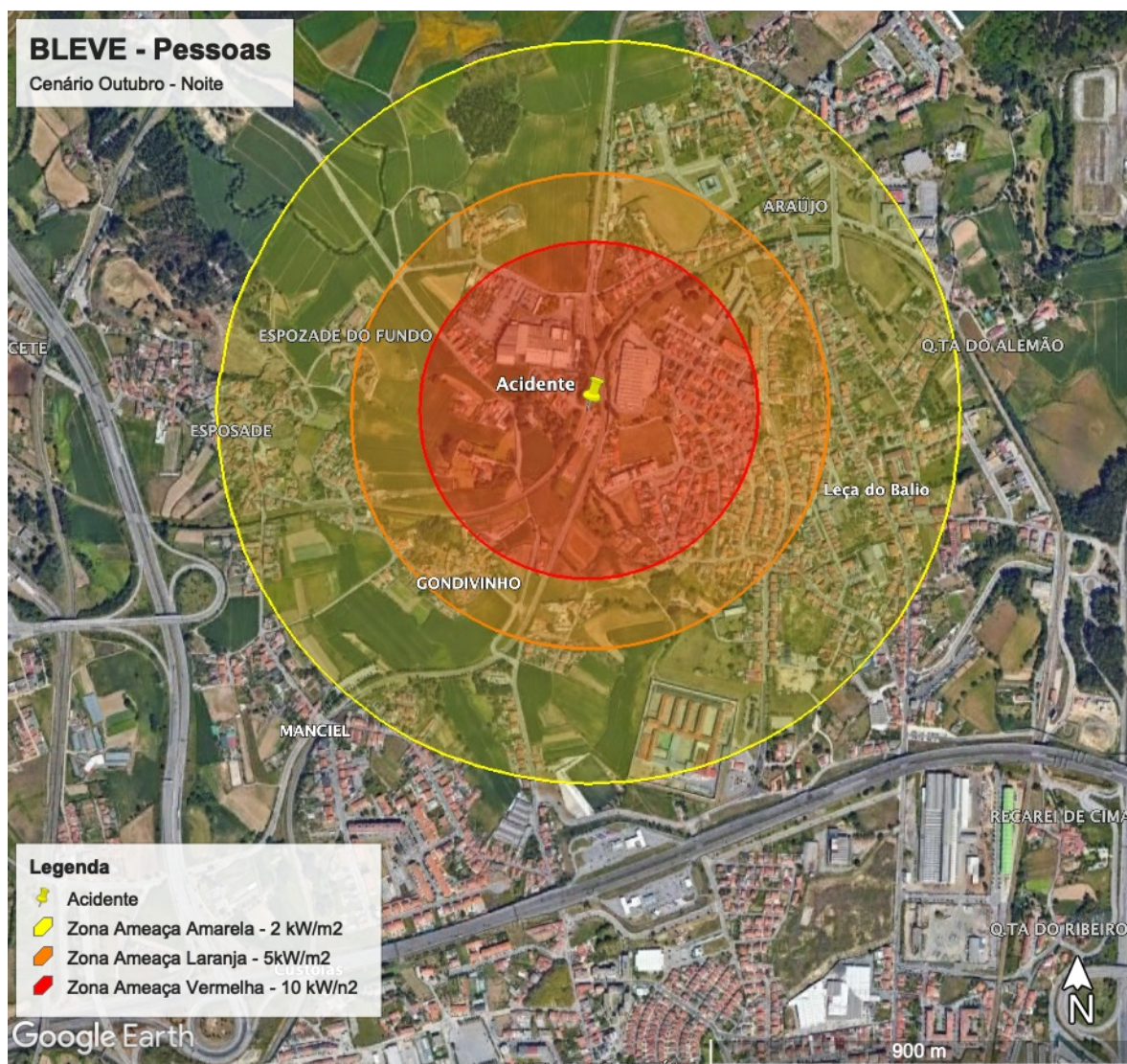


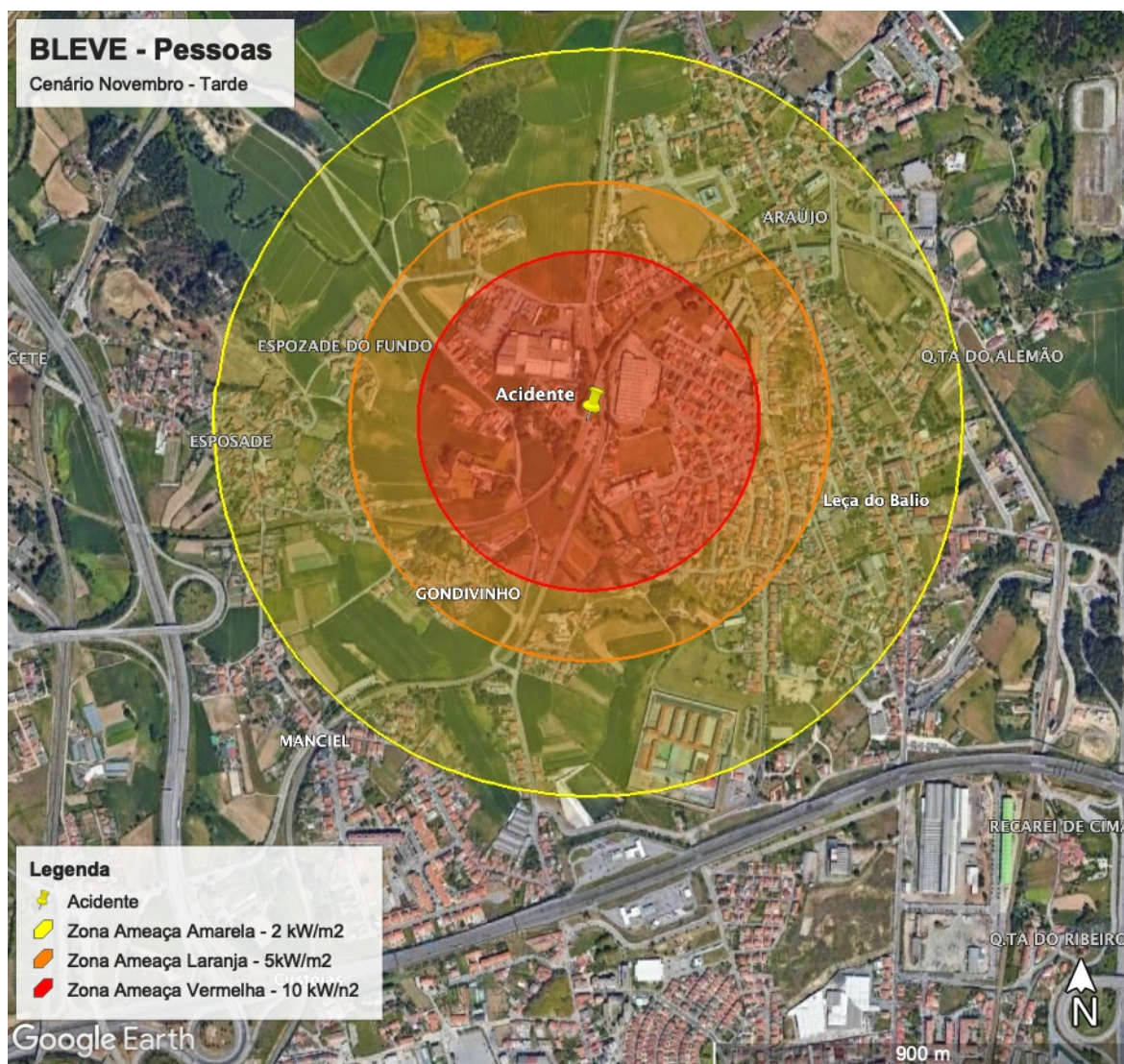


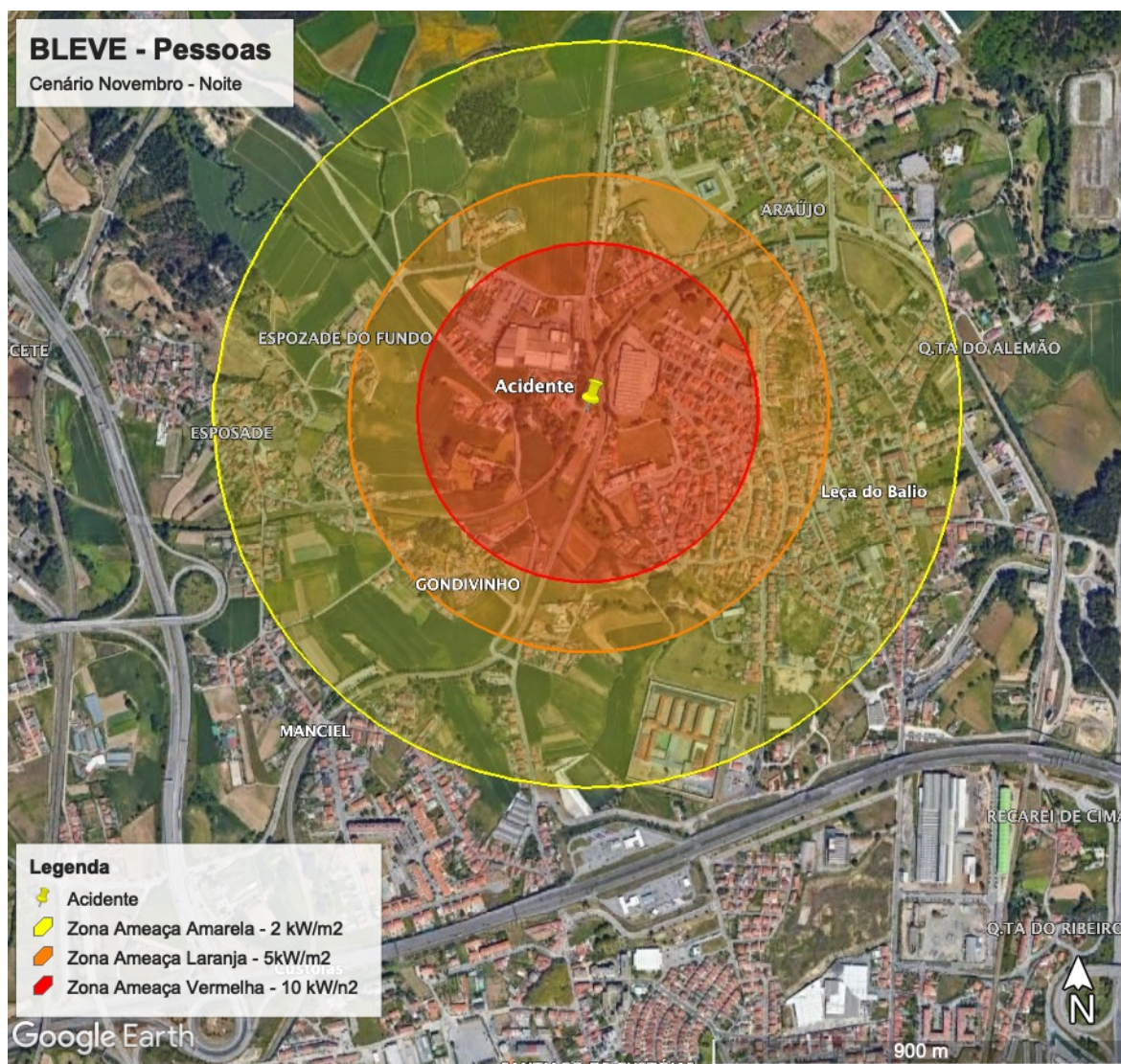


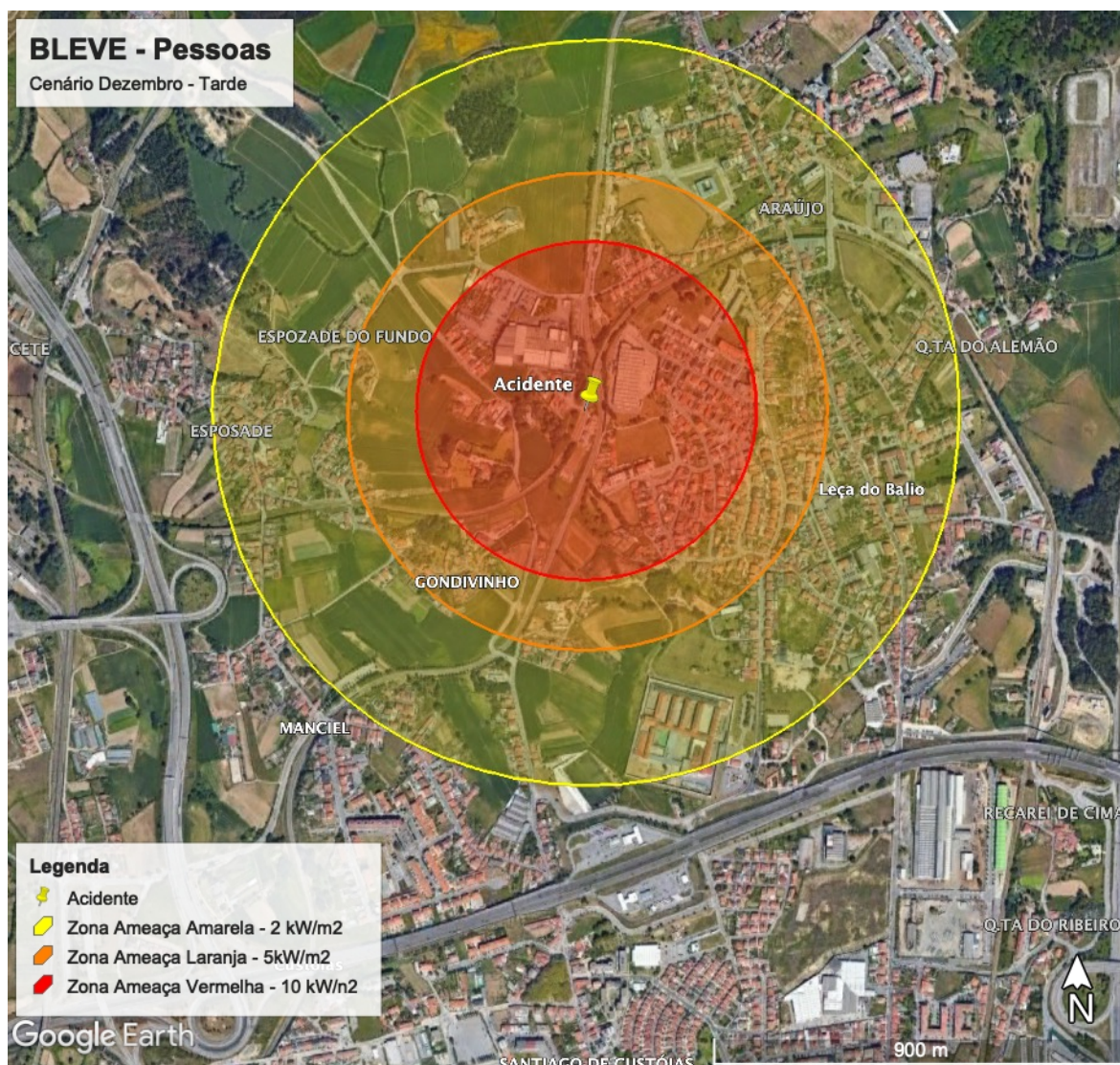


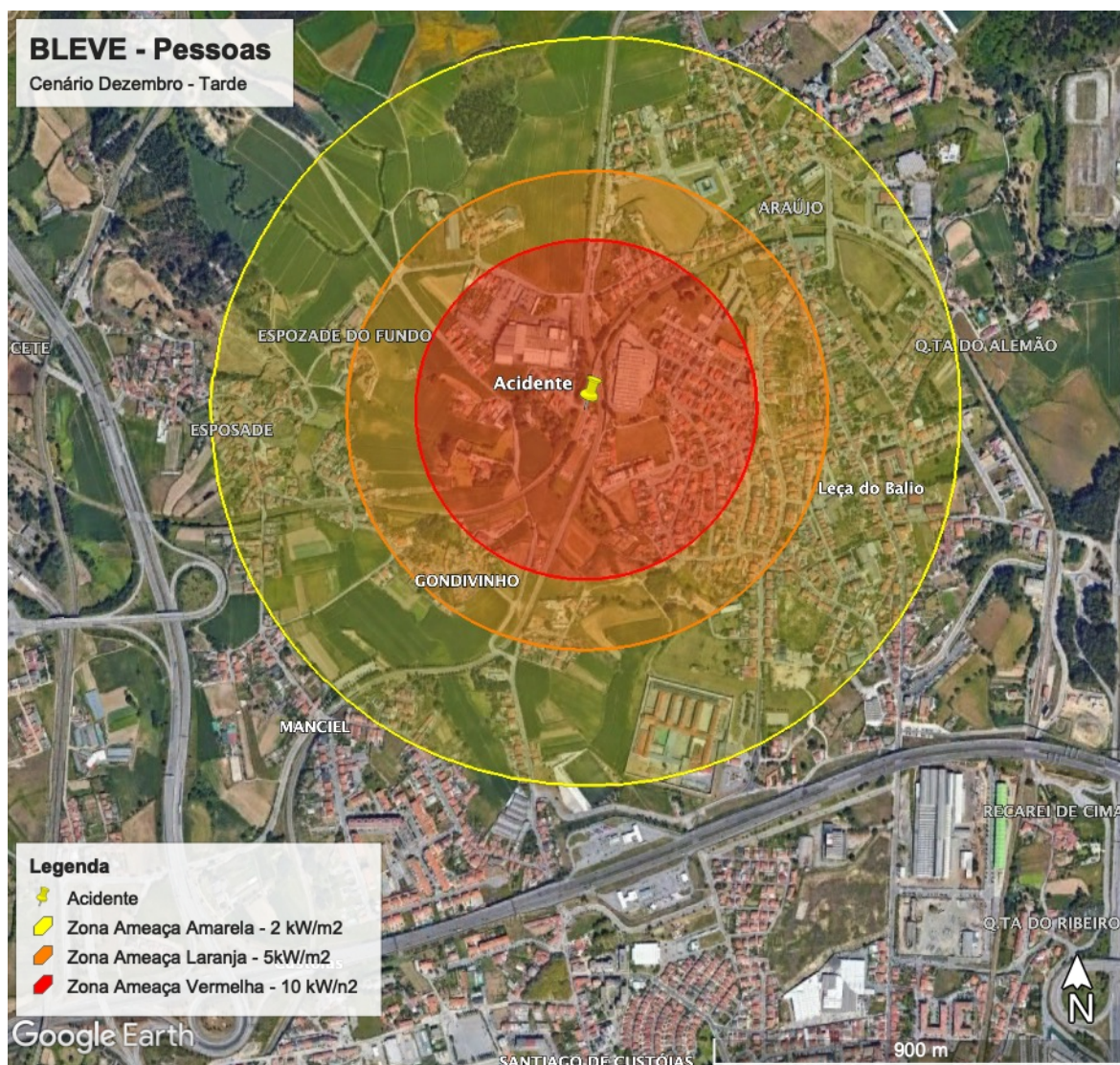












Anexo F – Zonas de ameaça (*Nuvens tóxicas*)

