

MESTRADO

SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA E ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO

Análise cartográfica de quedas de árvores no concelho do Porto

Letícia de Fátima Eleutério Cimbron

L

2024



Letícia de Fátima Eleutério Cimbron

Análise cartográfica de quedas de árvores no concelho do Porto

Dissertação realizada no âmbito do Mestrado em sistemas de informação geográfica e ordenamento do território, orientada pela Professora Doutora Gabriela Narcizo de Lima.

Faculdade de Letras da Universidade do Porto

2024

Ao meu pai e irmãs.

Sumário

Declaração de honra	7
Agradecimentos.....	8
Resumo.....	9
Abstract	11
Índice de Figuras	13
Índice de Tabelas	14
Lista de abreviaturas e siglas.....	15
1.Introdução	16
1.1. Objetivos	17
1.2. Estrutura	17
2.Enquadramento geográfico.....	18
3.Caracterização física do município.....	19
3.1. Clima	19
3.2. Uso e ocupação do solo	19
3.2.1. Arvoredo.....	21
4.Contextualização.....	24
4.1. Resultados do estudo anterior	25
4.1.1. Queda de árvores em período de aviso meteorológico de precipitação forte: 2021-2023	25
4.1.2. Queda de árvores em período de aviso meteorológico de vento forte: 2021-2023	26
5.Metodologia	28
5.1. Recolha dos dados das quedas de árvores	28
5.2. Processamento de dados climáticos	29
5.2.1. Organização dos dados.....	29
5.2.2. Análise dos dados.....	30
5.3. Classificação dos eventos meteorológicos.....	32
5.3.1. Vento	32
5.3.2. Precipitação	33
5.4. Cruzamento dos dados	33
5.4.1. Cruzamento das quedas de árvores com eventos de vento forte	34
5.4.2. Cruzamento das quedas de árvores com os dados de precipitação	35

6.Resultados	38
6.1. Ocorrências de quedas de árvores na presença de eventos de ventos fortes	38
6.1.1. 2015.....	38
6.1.2. 2016.....	39
6.1.3. 2017.....	40
6.1.4. 2018.....	41
6.1.5. 2019.....	42
6.1.6. 2020.....	43
6.1.7. 2021.....	44
6.1.8. 2022.....	45
6.1.9. 2023.....	46
6.1.10. Diagrama de vento.....	47
6.2. Ocorrências de quedas de árvores na presença de precipitação.....	50
6.2.1. 2015.....	50
6.2.2. 2016.....	52
6.2.3. 2017.....	53
6.2.4. 2018.....	54
6.2.5. 2019.....	55
6.2.6. 2020.....	56
6.2.7. 2021.....	57
6.2.8. 2022.....	58
6.2.9. 2023.....	59
7.Propostas de progressão do estudo: sugestões para a minimização de danos em caso de queda de árvores	64
8.Conclusões.....	65
Referências Bibliográficas	68
Anexo 1	71

Declaração de honra

Declaro que a presente dissertação é de minha autoria e não foi utilizada previamente noutro curso ou unidade curricular, desta ou de outra instituição. As referências a outros autores (textos, trabalhos, ideias) respeitam escrupulosamente as regras de atribuição de autoria e encontram-se devidamente indicadas no texto e nas referências bibliográficas, de acordo com as normas de referência. Tenho consciência de que a prática de plágio e auto-plágio constitui um ilícito académico.

Declaro, ainda, que não utilizei ferramentas de inteligência artificial generativa (chatbots baseados em grandes modelos de linguagem) para realização de parte(s) da/o presente dissertação encontrando-se todas as interações (prompts e respostas) transcritas em anexo.

Porto, 2024

Letícia Cimbron

Agradecimentos

Ao meu pai por todo o esforço investido no meu percurso acadêmico, que apesar da distância e das saudades da família, sempre me deu o apoio necessário para conseguir terminar esta etapa da minha vida com sucesso.

À minha orientadora, Professora Gabriela Narcizo de Lima, por ter aceitado orientar o meu projeto, pela ajuda e paciência que disponibilizou em todos os momentos necessários à sua elaboração.

Ao Duarte Ricardo, por me ter acolhido durante o estágio curricular, que deu origem à elaboração do presente trabalho.

Resumo

A presença de árvores apresenta diversos benefícios, no entanto, a falta de monitorização pode ocasionar danos materiais e humanos em caso de queda. A cidade do Porto abrange uma grande variedade de arvoredo, o que aumenta a probabilidade de quedas de árvores na cidade em dias com condições atmosféricas adversas, como fortes precipitações e/ou ventos. Neste sentido, elaborou-se uma análise cartográfica das quedas de árvores verificadas no Porto, com base no registo existente entre 2015 e 2023 fornecido pelo Regimento de Sapadores Bombeiros do Porto, contabilizando um total de 658 ocorrências de quedas de árvores. Adicionalmente, relacionou-se as ocorrências de quedas de árvores com os eventos de precipitação e vento.

Para obter os dados climáticos, recorreu-se à quinta geração de reanálise atmosférica global do clima do European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF Reanalysis v5 ERA5), que disponibiliza informação detalhada por ano, mês, dia e hora de diversas variáveis climáticas. A partir desta informação, classificou-se um evento de vento forte, quando a velocidade do vento registada fosse igual ou superior a 6.5 m/s durante, pelo menos, 3 horas consecutivas, conforme a metodologia de Lopes *et al*, 2008b. No caso de interrupções de 3 horas, no mínimo, considerou-se um novo evento. Os eventos de precipitação, foram classificados de acordo com os critérios da World Meteorological Organization: precipitação fraca (< 5 mm), moderada (5-19 mm), forte (20-49 mm) e extrema (≥ 50 mm).

Com o aumento do número de quedas de árvores no Porto, a realização do presente estudo, fundamentado no histórico das ocorrências de quedas de árvores, torna-se importante, na medida em que pode contribuir para a prevenção de futuras ocorrências e para a eficácia da resposta dada pelos Agentes de Proteção Civil.

Observou-se que o número de quedas de árvores apresentou uma tendência crescente entre os anos de 2015-2023, sendo que o ano de 2023 compreende o maior número de ocorrências. Assim, das 658 ocorrências de quedas de árvore, 401 ocorreram em dias com evento de vento forte e 257 em dias sem evento.

Para além disso, do total das ocorrências, 115 decorreram em dias sem precipitação, 261 com precipitação fraca, 141 com precipitação moderada, 111 com precipitação forte, e 30 com precipitação extrema.

O estudo foi realizado de forma individual para cada variável meteorológica, precipitação e vento, devido ao elevado número de ocorrências que apresentavam simultaneamente precipitação e vento, num total de 351.

Palavras-chave: [Queda de árvores; Precipitação; Vento; Porto]

Abstract

The presence of trees has a number of benefits, however, the lack of monitoring can lead to material and human damage in the event of a fall. The city of Porto has a wide variety of trees, which increases the likelihood of trees falling in the city on days with adverse weather conditions, such as heavy rain and/or wind. With this in mind, a cartographic analysis of tree falls in Porto was drawn up, based on the existing registry between 2015 and 2023 provided by the Porto Fire Brigade Regiment, accounting for a total of 658 occurrences of tree falls. In addition, the number of tree falls was correlated with rainfall and wind events.

To obtain the climate data, the fifth generation of the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts' global atmospheric reanalysis (ECMWF Reanalysis v5 ERA5) was used, which provides detailed information by year, month, day and hour for various climate variables. Based on this information, a strong wind event was classified when the recorded wind speed was equal to or greater than 6.5 m/s for at least 3 consecutive hours, according to the methodology of Lopes et al, 2008b. In the case of interruptions of at least 3 hours, a new event was considered. Rainfall events were classified according to World Meteorological Organization criteria: light rainfall (< 5 mm), moderate rainfall (5-19 mm), heavy rainfall (20-49 mm) and extreme rainfall (≥ 50 mm).

With the increase in the number of tree falls in Porto, this study, based on the history of tree fall occurrences, is important as it can contribute to the prevention of future occurrences and to the effectiveness of the response given by Civil Protection Agents.

It was observed that the number of fallen trees showed an upward trend between the years 2015-2023, with 2023 comprising the largest number of occurrences. Thus, of the 658 incidents of trees falling, 401 occurred on days with a strong wind event and 257 on days without an event.

Furthermore, of the total number of incidents, 115 occurred on days with no precipitation, 261 with light precipitation, 141 with moderate precipitation, 111 with heavy precipitation and 30 with extreme precipitation.

The study was conducted individually for each meteorological variable, precipitation and wind, due to the high number of occurrences that simultaneously presented both precipitation and wind, totaling 351

Key-words: [Tree falls; Precipitation; Wind; Porto]

Índice de Figuras

FIGURA 1. MAPA DE LOCALIZAÇÃO DO CONCELHO DO PORTO	18
FIGURA 2. RECORTE DA MATRIZ DA ELABORAÇÃO DA CARTA DE OCUPAÇÃO DO SOLO	20
FIGURA 3. ESPAÇOS VERDES NO CONCELHO DO PORTO.....	21
FIGURA 4. PERCENTAGEM DE RUAS ARBORIZADAS E NÃO ARBORIZADAS NO PORTO.....	22
FIGURA 5. ESPÉCIES DE ÁRVORES NAS RUAS DO PORTO.....	23
FIGURA 6. QUEDA DE ÁRVORES EM PERÍODO DE AVISO METEOROLÓGICO DE PRECIPITAÇÃO FORTE NO PORTO: 2021-2023.....	26
FIGURA 7. QUEDA DE ÁRVORES EM PERÍODO DE AVISO METEOROLÓGICO DE VENTO FORTE NO PORTO: 2021- 2023.....	27
FIGURA 8. QUEDA DE ÁRVORES NO PORTO EM PERÍODO DE VENTO EM 2015.....	39
FIGURA 9. QUEDA DE ÁRVORES NO PORTO EM PERÍODO DE VENTO EM 2016.....	40
FIGURA 10. QUEDA DE ÁRVORES NO PORTO EM PERÍODO DE VENTO EM 2017	41
FIGURA 11. QUEDA DE ÁRVORES NO CONCELHO DO PORTO EM PERÍODO DE VENTO EM 2018	42
FIGURA 12. QUEDA DE ÁRVORES NO PORTO EM PERÍODO DE VENTO EM 2019	43
FIGURA 13. QUEDA DE ÁRVORES NO PORTO EM PERÍODO DE VENTO EM 2020	44
FIGURA 14. QUEDA DE ÁRVORES NO PORTO EM PERÍODO DE VENTO EM 2021	45
FIGURA 15. QUEDA DE ÁRVORES NO PORTO EM PERÍODO DE VENTO EM 2022	46
FIGURA 16. QUEDA DE ÁRVORES NO PORTO EM PERÍODO DE VENTO EM 2023	47
FIGURA 17. DIREÇÃO E VELOCIDADE DO VENTO NO CONCELHO DO PORTO.....	49
FIGURA 18. QUEDAS DE ÁRVORES NO PORTO EM RELAÇÃO À DIREÇÃO E VELOCIDADE DO VENTO: 2015-2023	50
FIGURA 19. QUEDA DE ÁRVORES NO PORTO EM PERÍODO DE PRECIPITAÇÃO EM 2015	51
FIGURA 20. QUEDA DE ÁRVORES NO PORTO EM PERÍODO DE PRECIPITAÇÃO EM 2016	52
FIGURA 21. QUEDA DE ÁRVORES NO PORTO EM PERÍODO DE PRECIPITAÇÃO EM 2017	53
FIGURA 22. QUEDA DE ÁRVORES NO PORTO EM PERÍODO DE PRECIPITAÇÃO EM 2018	54
FIGURA 23. QUEDA DE ÁRVORES NO PORTO EM PERÍODO DE PRECIPITAÇÃO EM 2019	55
FIGURA 24. QUEDA DE ÁRVORES NO PORTO EM PERÍODO DE PRECIPITAÇÃO EM 2020	56
FIGURA 25. QUEDA DE ÁRVORES NO PORTO EM PERÍODO DE PRECIPITAÇÃO EM 2021	57
FIGURA 26. QUEDA DE ÁRVORES NO PORTO EM PERÍODO DE PRECIPITAÇÃO EM 2022	58
FIGURA 27. QUEDA DE ÁRVORES NO PORTO EM PERÍODO DE PRECIPITAÇÃO EM 2023	59
FIGURA 28. QUEDA DE ÁRVORE NA VIA PÚBLICA NO DIA 15/8/2024	61

Índice de Tabelas

TABELA 1. ESPÉCIES DE ÁRVORES NO ARRUAMENTO DO PORTO	23
TABELA 2. CRITÉRIOS PARA EMISSÃO DOS AVISOS METEOROLÓGICOS	24
TABELA 3. EXEMPLO DA METODOLOGIA UTILIZADA PARA A SELEÇÃO DOS AVISOS METEOROLÓGICOS.....	25
TABELA 4. VARIÁVEIS CLIMÁTICAS UTILIZADAS NO ESTUDO	30
TABELA 5. FÓRMULAS UTILIZADAS	31
TABELA 6. EXEMPLO DA ORGANIZAÇÃO DOS DADOS CLIMÁTICO NO DIA 1/1/2015	32
TABELA 7. EVENTOS DE VENTO FORTE NO CONCELHO DO PORTO	33
TABELA 8. QUADRO SÍNTESE DAS QUEDAS DE ÁRVORES RELACIONADAS A EVENTOS DE VENTO FORTE NO PORTO	34
TABELA 9. QUADRO SÍNTESE DA CLASSIFICAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO ACUMULADA NOS DIAS DAS QUEDAS DE ÁRVORES	36
TABELA 10.FÓRMULA UTILIZADA PARA A OBTENÇÃO DE OCORRÊNCIAS SEM RELAÇÃO À PRESENÇA DE PRECIPITAÇÃO.....	37
TABELA 11. OCORRÊNCIAS DE QUEDAS DE ÁRVORES NA PRESENÇA DE PRECIPITAÇÃO E VENTO.....	60
TABELA 12. DADOS CLIMÁTICOS PARA O DIA DA QUEDA DE ÁRVORE: 15/8/2024	62

Lista de abreviaturas e siglas

APC	AGENTES DE PROTEÇÃO CIVIL
CMP	CÂMARA MUNICIPAL DO PORTO
ECMWF	EUROPEAN CENTRE FOR MEDIUM-RANGE WEATHER FORECASTS
IPMA	INSTITUTO PORTUGUÊS DO MAR E DA ATMOSFERA
PACP	PLANO DA ARBORIZAÇÃO DA CIDADE DO PORTO
PDMP	PLANO DIRETOR MUNICIPAL DO PORTO
PMDFCI	PLANO MUNICIPAL DA DEFESA DA FLORESTA CONTRA INCÊNDIOS
RSBP	REGIMENTO DE SAPADORES BOMBEIROS DO PORTO

1. Introdução

A presença de uma grande variedade de arvoredo, distribuído por escolas, jardins, arruamentos, entre outros locais do concelho do Porto, traz diversos benefícios, como a criação de zonas de sombra necessárias para a redução da temperatura local e a melhoria da qualidade do ar devido à absorção do dióxido de carbono, no entanto, em caso de queda, poderá originar danos materiais e humanos.

A conjugação da idade das árvores com a exposição a fatores que dificultam o seu desenvolvimento como pragas e doenças, podem favorecer a queda de pernadas ou ramos, ou até mesmo o desmoronamento total da árvore. O controle regular das árvores, como uma análise visual, complementada por avaliações da integridade do lenho do tronco e/ou dos ramos, apoiadas em instrumentos próprios para o efeito, e também do estado fitossanitário, que são dirigidas sobretudo pela verificação da presença de podridões ativas do lenho, que podem reduzir a sua resistência mecânica e favorecer o colapso da árvore ou de algumas das suas partes, é uma mais valia para evitar quedas e árvores e possíveis danos (Instituto Superior de Agronomia, 2024).

Assim, a queda de árvores pode ocorrer pela falta de monitorização do seu estado, e/ ou por fatores externos, tais como condições atmosféricas adversas, como fortes precipitações e ventos.

Neste sentido, elaborou-se uma análise cartográfica das quedas de árvores verificadas no Porto, com base nos registos existentes entre 2015 e 2023, fornecidos pelo Regimento de Sapadores Bombeiros do Porto (RSBP). Adicionalmente, relacionaram-se os eventos de quedas de árvores com os dados de precipitação e vento registados no dia da queda, obtidos através do ECMWF Reanalysis v5 (ERA5) e disponibilizados pelo Copernicus Climate Change Service (C3S) (Copernicus Climate Change Service (C3S), 2024). Deste modo será possível perceber quantas árvores caíram associadas a eventos fortes de precipitação e vento.

1.1. Objetivos

O objetivo deste estudo tem como base a elaboração de uma análise cartográfica das quedas de árvores no Porto, fundamentado pelos registos entre 2015 e 2023, fornecidos pelo Regimento de Sapadores Bombeiros do Porto (RSBP). Além disso, com base nos dados obtidos através do ECMWF Reanalysis v5 (ERA5) (Copernicus Climate Change Service (C3S), 2024) por ano, mês, dia e hora, percebeu-se se, no dia da ocorrência de queda de árvore, houve um episódio de vento ou precipitação, de acordo com critérios estabelecidos: os eventos de vento forte seguem a metodologia de Lopes et al. (2008b), que define um evento de vento forte como aquele em que a velocidade do vento é igual ou superior a 6,5 m/s durante pelo menos 3 horas consecutivas. Em caso de interrupções de no mínimo 3 horas, deve-se considerar como um novo evento. Além disso, a classificação da precipitação segue os critérios da Organização Meteorológica Mundial (MATZLER, HOCKE, WANG, 2021): precipitação fraca (< 5 mm), moderada (5-19 mm), forte (20-49 mm) e extrema (≥ 50 mm).

1.2. Estrutura

Este estudo é composto por oito capítulos. O primeiro capítulo inclui a introdução. O segundo capítulo aborda o enquadramento geográfico do concelho do Porto. O terceiro capítulo detalha a caracterização física do município, incluindo análises do clima, uso e ocupação do solo, além do arvoredo e arborização das vias públicas. O quarto capítulo contextualiza o estudo anterior que deu origem a este trabalho, descrevendo a metodologia utilizada e os resultados obtidos. O quinto capítulo é dedicado à metodologia empregada neste estudo, dividido em quatro subcapítulos: recolha de dados das quedas de árvores, processamento de dados climáticos, classificação dos eventos meteorológicos e o cruzamento de dados. Esses subcapítulos incluem a organização dos dados e as suas respetivas análises e a relação entre eventos meteorológicos (precipitação e vento) e as ocorrências de quedas de árvores. O sexto capítulo é destinado aos resultados, derivados da análise espacial efetuada. O sétimo capítulo propõe medidas para minimizar os danos em caso de quedas de árvores. Por fim, o oitavo capítulo apresenta as conclusões do trabalho.

2. Enquadramento geográfico

“Ao nível da Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos (NUTS), o município do Porto integra a NUT II Norte e, mais concretamente a NUT III – Área Metropolitana do Porto” (PMDFCI, 2021). Com uma área de 41,2 km², é delimitado a norte por Matosinhos e Maia, a sul por Vila Nova de Gaia, a este por Gondomar e a oeste pelo Oceano Atlântico (PMDFCI, 2021). O concelho abrange quatro freguesias e três uniões de freguesias (Figura nº1), tais como Bonfim (3,1 km²), Campanhã (8,04 km²), Paranhos (7,17 km²) e Ramalde (5,82 km²) e União das freguesias de Aldoar, Foz do Douro e Nevogilde (6,27 km²), União das freguesias de Cedofeita, Santo Ildefonso, Sé, Miragaia, São Nicolau e Vitória (5,43 km²) e União das freguesias de Lordelo do Ouro e Massarelos (5,59 km²), respetivamente (PMDFCI, 2021). A união das freguesias procede da reforma administrativa de 2013 (Câmara Municipal do Porto, 2024).

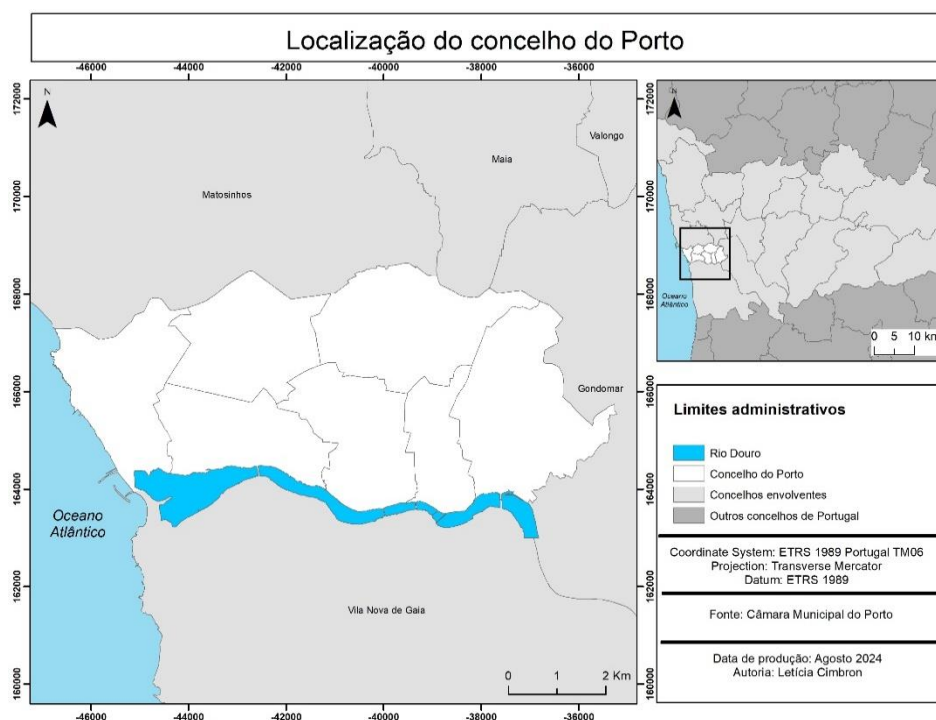


Figura 1. Mapa de localização do concelho do Porto
Fonte: Câmara Municipal do Porto
Autoria: Letícia Cimbron

3. Caracterização física do município

3.1. Clima

Segundo a classificação de Koppen, o clima do porto é do tipo Csb (clima temperado, com um inverno chuvoso e um verão seco e pouco quente), que pode ser explicado pela influência marítima do Oceano Atlântico (IPMA, 2024).

De acordo com o relatório de caracterização e diagnóstico referente ao clima e ambiente urbano, incluído no Plano Diretor Municipal do Porto 2018 (PDMP, 2018), entre 1978 e 2016, verificou-se que os dias dos meses de junho, julho, agosto (meses de verão) apresentaram as temperaturas máximas que geralmente atingem ou superam os 25°C. Por outro lado, os dias com as temperaturas mínimas variam entre 2°C e 7°C e decorreram entre novembro e abril (meses de inverno).

O período compreendido entre outubro e dezembro concentra a época mais chuvosa do ano.

Durante o inverno, o vento é predominante nos quadrantes NW, E e SE, com uma velocidade média que varia entre 5,5 m/s e 6,9 m/s, enquanto no verão, o vento predominante muda para os quadrantes N, NW e E (PDMP, 2018).

3.2. Uso e ocupação do solo

A carta de ocupação do solo do concelho do Porto foi elaborada de acordo com a matriz de ocupação do solo, que compreende unidades classificadas de A a K. A classificação das áreas verdes de uso variado está situada na unidade H, subdividida em quatro tipos (Figura nº 2) (PDMP, 2018).

	Unidade H	Áreas verdes de uso diverso, com função de equilíbrio ambiental e de valorização paisagística, caracterizados por serem espaços exteriores, não edificados com valor ecológico e/ou paisagístico, de génese humana, dominados por vegetação, destinado à fruição e bem-estar das populações.
	Tipo I	Áreas verdes ordenadas, desenhadas e de acesso público direto, podendo acolher diversas atividades ao ar livre para recreio, lazer, desporto e/ou cultura.
	Tipo II	Áreas verdes situadas na envolvente de edifícios enterrados ou à superfície e de usos diversos, em regra delimitadas em todo o seu perímetro e com jardins conservados ou área de hortas.
	Tipo III	Áreas verdes de enquadramento a diversos tipos de infraestruturas, para proteção visual e/ou sonora.
	Tipo IV	Áreas verdes contínuas, podendo ter edificação dispersa, com ocupação agrícola atual ou em estado de abandono constituídas por solo orgânico em terreno natural, permeável e plantado.

Figura 2. Recorte da matriz da elaboração da Carta de Ocupação do Solo
Fonte: Plano Diretor Municipal do Porto 2018

Considerando todas as tipologias definidas anteriormente, o território do Porto compreende 14,1% de áreas verdes, sendo que existe maior incidência na freguesia de Campanhã, seguindo-se as freguesias de Lordelo do Ouro e Massarelos e Aldoar, Foz do Douro e Nevogilde. O jardim Botânico no Campo Alegre, Parque de Serralves, Passeio Alegre, Parque da Cidade, Parque Oriental nas margens de Rio Tinto e os Jardins de São Lázaro, Cordoaria, Palácio de Cristal e Arca de Água eram antigas quintas e baldios que foram aproveitados para a transformação em espaços verdes de utilização pública (Figura nº 3) (PDMP, 2018).

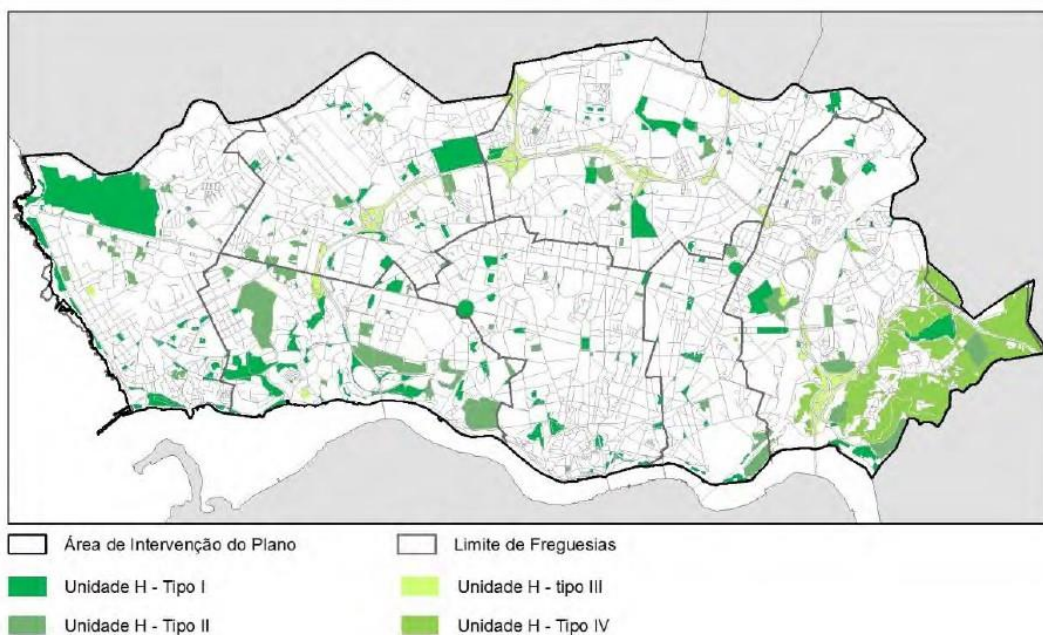


Figura 3. Espaços verdes no concelho do Porto
Fonte: Plano Diretor Municipal do Porto 2018

3.2.1. Arvoredo

Até ao dia 20/8/2024 estavam inventariadas 66741 árvores no concelho do Porto, das quais 228 são classificadas como “interesse público”, que apresentam um “elevado valor patrimonial, ecológico, paisagístico, cultural e histórico” (Portal de Informação Geográfica do Porto, 2024).

3.2.1.1. Arborização de arruamento

De acordo com o Plano de Arborização da Cidade do Porto 2021 (PACP, 2021), 29.2% das ruas do Porto são arborizadas (Figura nº 4), num total de 156 km. A arborização da cidade ocorre maioritariamente em grandes eixos, como a Avenida da Boavista, Avenida de Montevideu, Avenida do Brasil, Avenida do Marechal Gomes da Costa, Avenida do Dr. Antunes Guimarães, Rua de Diogo Botelho, Rua do Campo Alegre e Rua de Guerra Junqueiro, assim como em ruas com menor dimensão, localizadas em zonas como o Bairro de Marechal Gomes da Costa e o Bairro de Guerra Junqueiro. Por outro lado, o centro da cidade apresenta o menor número de ruas arborizadas, mas pode-se destacar alguns eixos, tais como a Rua de Damião de Góis, Rua de Sá da Bandeira, Rua de Gonçalo Cristóvão, Avenida dos Aliados e Avenida de Rodrigues de Freitas.

De realçar que, grande parte da arborização das ruas nesta zona está associada a espaços verdes, como a Praça da República, Jardim de Carrilho Videira (Carregal), Jardim de João Chagas (Cordoaria) (PACP, 2021).

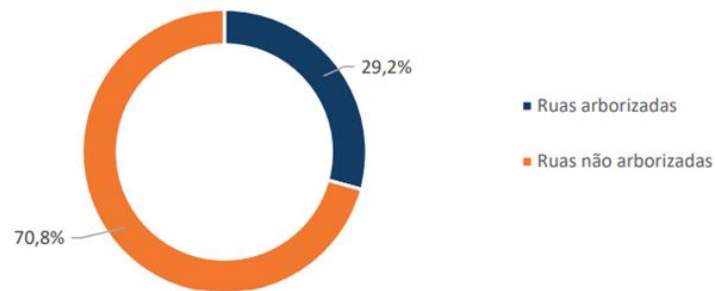


Figura 4. Percentagem de ruas arborizadas e não arborizadas no Porto
Fonte: Plano de Arborização da Cidade do Porto, 2021

Segundo o inventário incluído no Plano de Arborização da Cidade do Porto 2021, num total de 20 154 árvores presentes nas ruas do Porto, o que correspondia a cerca de 30% do arvoredo total da cidade, as espécies de árvores de arruamento com maior abundância (Figura nº 5 e Tabela nº 1) são, por ordem decrescente: *Platanus x acerifolia*, *Celtis australis*, *Acer negundo*, *Liquidambar styraciflua*, *Tilia x europaea* e *Quercus rubra*, sendo que estas 6 espécies constituem 35,3% da população de árvores de arruamento (PACP, 2021).

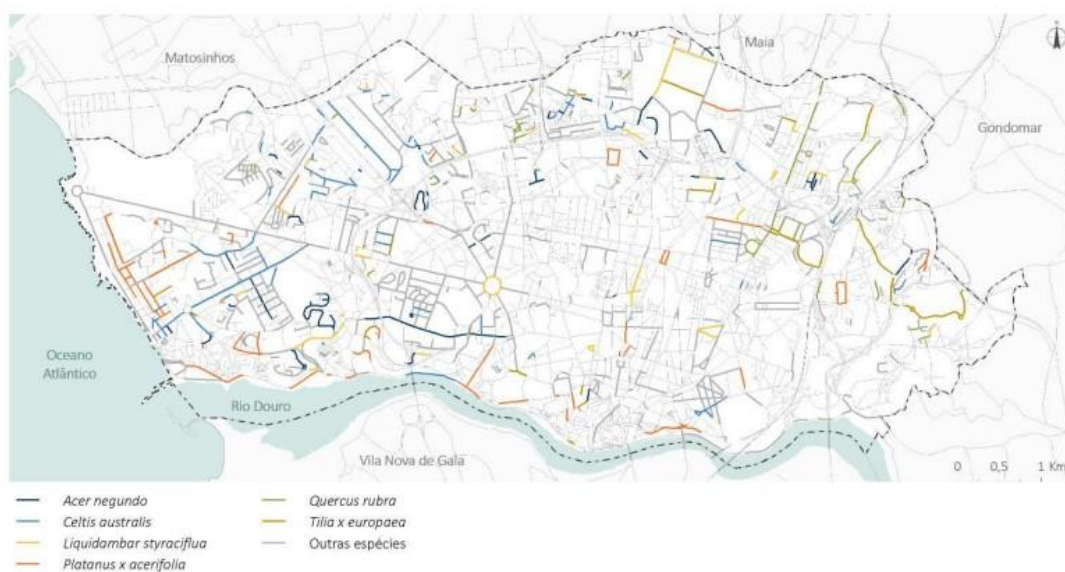


Figura 5. Espécies de árvores nas ruas do Porto
Fonte: Plano de Arborização da Cidade do Porto 2021

Tabela 1. Espécies de árvores no arruamento do Porto
Fonte: Plano de Arborização da Cidade do Porto 2021

Nome da espécie	Número de espécies	Percentagem das árvores em arruamentos (%)
<i>Platanus x acerifolia</i>	1592	7.9
<i>Celtis australis</i>	1389	6.9
<i>Acer negundo</i>	1327	6.6
<i>Liquidambar styraciflua</i>	1090	5.4
<i>Tilia x europaea</i>	962	4.8
<i>Quercus rubra</i>	743	3.7

4. Contextualização

O presente estudo se caracteriza como a continuidade do trabalho realizado durante o estágio curricular na Divisão Municipal de Planeamento e Monitorização de Risco, situada no Centro de Gestão Integrada (CGI). Anteriormente, estudaram-se as quedas de árvores durante os avisos meteorológicos de precipitação e ventos fortes, emitidos pelo Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA) para o período de 2021 a 2023.

A base de dados elaborada pelo Regimento de Sapadores Bombeiros do Porto apresentava registos desde 2015, no entanto, as ocorrências entre 2015 a 2020 não estavam georreferenciadas, pelo que não tinham sido utilizadas. Para além disso, existia um campo relativo ao “tipo de alarme” classificando as ocorrências como “falso alarme” e “real”, tendo sido selecionados apenas os episódios reais. Deste modo, foram incluídas as ocorrências reais entre janeiro de 2021 e meados de novembro de 2023, num total de 259 ocorrências.

O IPMA apresenta uma série de critérios para a emissão dos avisos meteorológicos classificados em amarelo, laranja e vermelho, que abrangem situações como chuvas intensas, ventos fortes, tempestades, temperaturas extremas, entre outras. Esses critérios, que variam conforme o tipo de aviso e região geográfica, são fundamentais para alertar a população sobre as condições meteorológicas adversas, visando à segurança e à mitigação de impactos. A tabela nº 2 demonstra os parâmetros para emissão dos avisos meteorológicos de precipitação e vento para Portugal Continental.

Tabela 2. Critérios para emissão dos avisos meteorológicos
Fonte: IPMA, 2024

Aviso	Parâmetro	Amarelo	Laranja	Vermelho	Notas
Vento	Rajada máxima do vento	70 a 90 km/h	91 a 130 km/h	>130 km/h	Nas terras altas
		90 a 110 km/h	111 a 130 km/h	>130 km/h	
Precipitação	Chuva/Aguaceiros	10 a 20 mm/1h	21 a 40 mm/1h	>40 mm/1h	
		30 a 40 mm/6h	41 a 60 mm/6h	>60 mm/6h	

Durante o cruzamento da informação das ocorrências com os avisos meteorológicos, percebeu-se que existiram ocorrências associadas a avisos meteorológicos de precipitação e de vento em simultâneo, assim como a avisos com diferentes classificações, isto porque durante um dia podem ser lançados vários avisos.

Desta forma, criou-se duas bases de dados distintas, uma para intercepar as ocorrências com o aviso meteorológico de precipitação e outra com o aviso meteorológico de vento forte. Para as ocorrências associadas a avisos meteorológicos com diferentes categorias, foi considerado o aviso mais gravoso, tal como demonstra o exemplo da tabela nº 3.

Tabela 3. Exemplo da metodologia utilizada para a seleção dos avisos meteorológicos
Fonte: Elaborada pela autora, com base nos avisos meteorológicos emitidos pelo IPMA

Número da ocorrência	Categoria do aviso	Tipo de aviso	Notas
17379/2023		Vento forte	
17379/2023		Vento forte	Aviso considerado

4.1. Resultados do estudo anterior

4.1.1. Queda de árvores em período de aviso meteorológico de precipitação forte: 2021-2023

Para o período em estudo, verificou-se que existiram ocorrências de queda de árvores em situações de avisos meteorológicos de precipitação forte amarelos, laranjas e vermelhos. Das 259 ocorrências registadas, 135 ocorreram durante a época de aviso meteorológico de precipitação forte, sendo o aviso amarelo o mais predominante, seguindo-se o laranja e por fim o vermelho. Em contrapartida, 124 ocorrências decorreram em período sem aviso meteorológico (Figura nº 6).

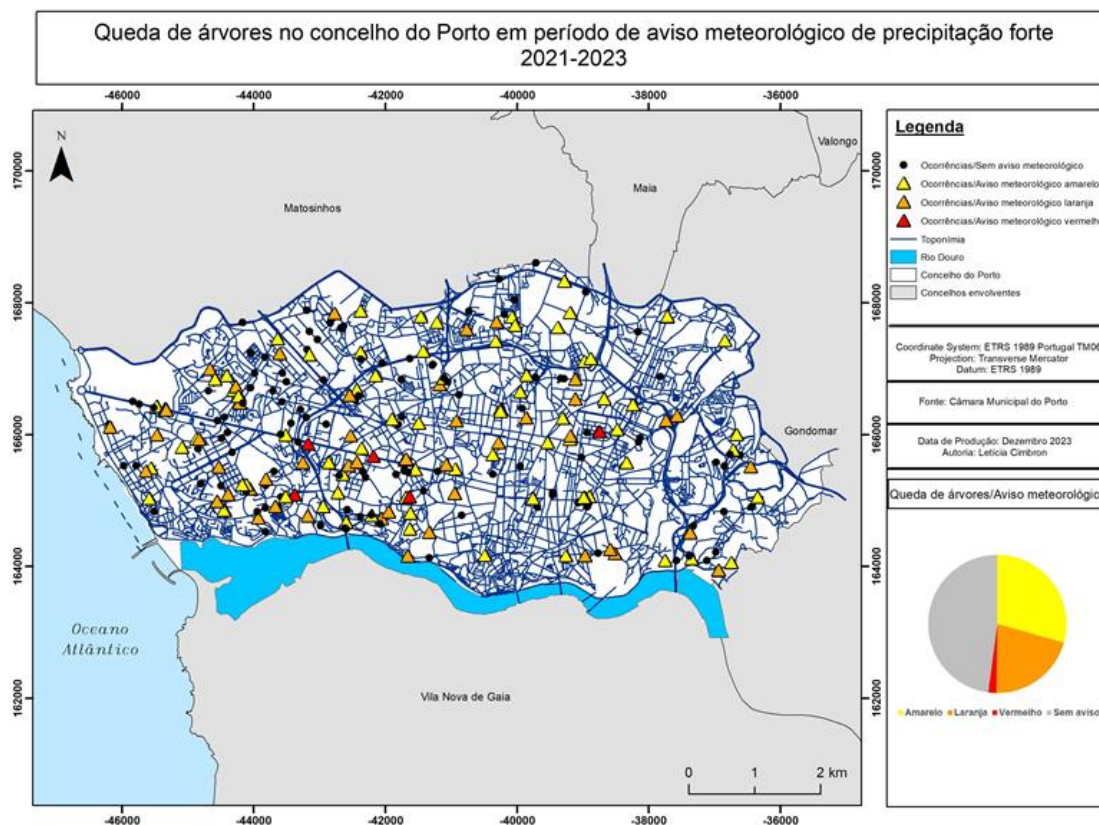


Figura 6. Queda de árvores em período de aviso meteorológico de precipitação forte no Porto: 2021-2023

Fonte: Câmara Municipal do Porto

Autoria: Letícia Cimbron

4.1.2. Queda de árvores em período de aviso meteorológico de vento forte: 2021-2023

Entre janeiro de 2021 e meados de novembro de 2023, verificou-se que existiram ocorrências de queda de árvores em períodos de avisos meteorológicos de ventos fortes amarelos e laranjas. Das 259 ocorrências registadas, 96 sucederam durante a época de aviso meteorológico de vento forte, sendo o aviso amarelo o mais predominante. Em contrapartida, 163 ocorrências decorreram em período sem aviso meteorológico (Figura nº 7).

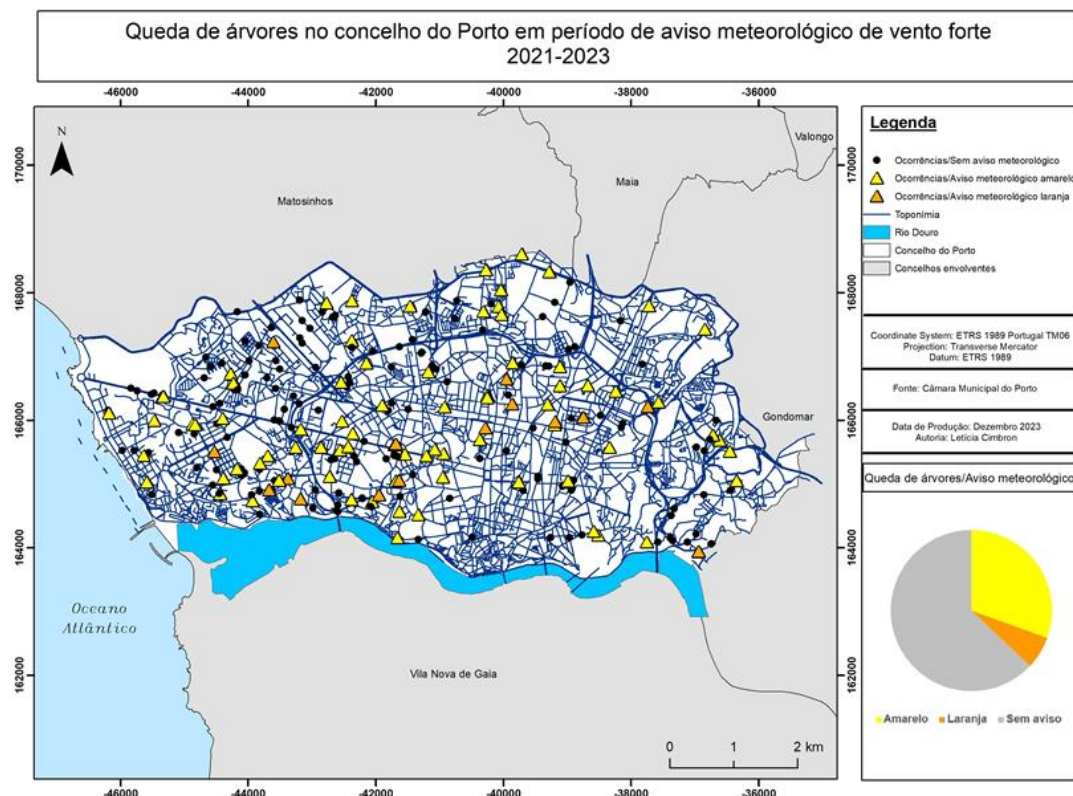


Figura 7. Queda de árvores em período de aviso meteorológico de vento forte no Porto: 2021-2023

Fonte: Câmara Municipal do Porto

Autoria: Letícia Cimbron

De acordo com os resultados obtidos, foi possível perceber que existiu um número significativo de quedas de árvores fora dos períodos de avisos meteorológicos de precipitação e ventos fortes, 124 não associadas a aviso meteorológico de precipitação forte e 163 não correlacionada a aviso meteorológicos de vento forte.

Esta situação pode ser explicada pela natureza dos modelos meteorológicos, que são modelos numéricos que preveem o estado da atmosfera e operam com uma grande quantidade de dados e variáveis complexas. Esses modelos podem não captar todas as nuances locais dos fenômenos meteorológicos (IPMA, 2024). Além disso, apresentam resoluções espaciais que podem não ser suficientemente detalhadas para prever fenômenos locais muito específicos, como microclimas ou condições topográficas particulares que afetam o clima local, o que pode levar a discrepâncias entre os avisos emitidos e as condições efetivamente observadas em superfície (WARNER, 2011).

Devido a esta limitação, a possibilidade de estabelecer uma relação direta entre o aviso meteorológico e a queda de árvores diminui, tornando necessária uma análise mais detalhada. Esta análise inclui o uso de dados climáticos de precipitação e vento em escalas anuais, mensais, diárias e horárias, para a verificação de padrões e melhoria da precisão na previsão de eventos que possam levar à queda de árvores.

Os demais resultados obtidos durante o estágio curricular estão agrupados no Anexo 1.

5. Metodologia

Este capítulo descreve a metodologia aplicada no estudo da análise cartográfica das quedas de árvores no concelho do Porto, delineando as técnicas e ferramentas utilizadas para a recolha, processamento e análise dos dados. O estudo fundamenta-se em uma abordagem quantitativa e espacial para correlacionar os eventos de quedas de árvores com variáveis climáticas específicas.

5.1. Recolha dos dados das quedas de árvores

No estágio curricular realizado na Divisão Municipal de Planeamento e Monitorização de Risco, situada no CGI, foram utilizadas as ocorrências de quedas de árvores registadas pelo Regimento de Sapadores Bombeiros do Porto entre 2021 e 2023, num total de 259 casos. As ocorrências restantes (2015 – 2020) não foram inicialmente consideradas por não estarem georreferenciadas. Para incluir todas as quedas de árvores registadas na base de dados disponibilizada, procedeu-se à georreferenciação das demais ocorrências através do Google Earth Pro.

Para tal, foram criadas tabelas no Excel para os anos de 2015 a 2020, contendo o número da ocorrência e o nome da rua. Estas tabelas foram posteriormente exportadas para o Google Earth Pro e, em seguida, para o ArcMap. Contudo, como a base de dados incluía apenas o nome da rua, sem informações complementares, como o código postal, muitas ocorrências ficaram sobrepostas, devido à repetição dos nomes das ruas em várias ocorrências.

Assim, foram adicionadas 399 ocorrências ao estudo, das quais 395 referem-se aos anos de 2015 a 2020, e 4 correspondem a 2023, uma vez que o relatório do estágio mencionado considerou apenas as quedas até meados de novembro de 2023. Com isso, o estudo contabilizou um total de 658 quedas de árvores. Importa salientar que a base de dados utilizada se refere apenas a episódios de queda de árvores na via pública, sugerindo que o número total de ocorrências em todo o concelho pode ser consideravelmente superior ao acedido.

5.2. Processamento de dados climáticos

5.2.1. Organização dos dados

Os dados climáticos das variáveis vento e precipitação foram obtidos através da base de dados "ERA5 hourly data on single levels from 1940 to present", disponibilizada pelo Copernicus Climate Change Service (C3S) (Copernicus Climate Change Service (C3S), 2024). ERA5 representa a quinta geração de reanálise do clima global, com dados desde 1940, desenvolvida pelo European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF). Estimativas horárias são fornecidas, atualizadas diariamente, para diversas variáveis, tais como velocidade do vento, precipitação total, temperatura da superfície do mar, pressão atmosférica, entre outras. Foram exportados os componentes U de 10 m do vento, V de 10 m do vento e a precipitação para cada ano (2015 a 2023), mês (janeiro a dezembro), dia (1-31) e hora (00h-23h) (Tabela nº 4). A combinação dos componentes U e V de 10 m do vento foi essencial para o cálculo da velocidade e direção do vento horizontal.

Tabela 4. Variáveis climáticas utilizadas no estudo
Fonte: Copernicus Climate Change Service (C3S), 2024

Componentes	Descrição
U de 10m do vento	Este parâmetro é o componente leste do vento de 10 m. É a velocidade horizontal do ar que se movimenta em direção a leste, a uma altura de dez metros acima da superfície da Terra, em metros por segundo.
V de 10m do vento	Este parâmetro é o componente norte do vento de 10 m. É a velocidade horizontal do ar que se movimenta em direção ao norte, a uma altura de dez metros acima da superfície da Terra, em metros por segundo.
Precipitação total	Este parâmetro é a água líquida e congelada acumulada, compreendendo chuva e neve, que cai na superfície da Terra.

5.2.2. Análise dos dados

Os ficheiros descarregados foram inseridos no programa Panoply¹ para a sua visualização. Posteriormente, para facilitar a análise, os dados foram organizados em tabelas de Excel, que incluem ano, mês, dia, hora, os componentes V de 10 m e U de 10 m do vento e a precipitação total (m). Para tornar as tabelas mais completas, foram adicionadas mais três colunas, que dizem respeito à precipitação na unidade de medida (mm) e à velocidade e direção do vento.

Os valores para as últimas duas variáveis foram obtidos através das fórmulas descritas no "Manual Teórico Prático do Observador Meteorológico de Superfície" (COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, 2010) (Tabela nº 5).

¹ Panoply é um software desenvolvido pela NASA para visualização de dados científicos. Ele permite aos usuários visualizar dados georreferenciados e outros tipos de arrays a partir de arquivos em diversos formatos como netCDF, HDF e GRIB, que são comumente usados em pesquisas científicas, especialmente em meteorologia, oceanografia e ciências climáticas.

Para garantir a precisão dos dados, todas as entradas nas tabelas foram verificadas manualmente e ajustadas conforme necessário. Este processo meticuloso assegurou a confiabilidade das informações usadas nas análises subsequentes.

Tabela 5. Fórmulas utilizadas
Fonte: Comisión Nacional del Agua, 2010

Componente	Fórmula
Precipitação total (mm)	Precipitação total (mm): $precipitação(m) * 1000$ Esta fórmula reflete a conversão dos valores de precipitação dados em metros para milímetros.
Velocidade do vento	Velocidade do vento $= \sqrt{u^2 + v^2}$ Onde: • u e v representam as componentes horizontais do vento nas direções leste (u) e norte (v), respectivamente. • O termo $[u^2 + v^2]$ é a soma dos quadrados das componentes do vento. • A função V extrai a raiz quadrada da soma dos quadrados, resultando na magnitude da velocidade do vento.
Direção do vento	Direção do vento $= (\text{GRAUS}(\text{ARCTAN2}(v,u)) + 360) \bmod 360$ Onde: • u e v são as componentes horizontais do vento nas direções leste e norte, respectivamente. • $\text{ARCTAN2}(v,u)$: calcula o arco tangente de v sobre u, considerando o quadrante correto baseado nos sinais de v (componente norte) e u (componente leste). • +360: assegura que o ângulo resultante seja positivo. • mod 360: normaliza o ângulo para que fique dentro do intervalo de 0 a 360 graus

A tabela nº6 representa a forma como foram organizados os dados. Neste caso, temos o exemplo do dia 1 de janeiro de 2015 (Tabela nº 6).

Tabela 6. Exemplo da organização dos dados climático no dia 1/1/2015
Fonte: Organizada pela autora a partir dos registos da base de dados elaborada pelo
Regimento de Sapadores Bombeiros do Porto e dos dados de Copernicus Climate Change
Service (C3S), 2024

Ano	Mês	Dia	Hora	V_10mu	V_10mv	Pre(m)	Pre(mm)	V_vento	D_vento
2015	1	1	00:00	-1,2	-1,1	0	0	1,627882	222,5104
2015	1	1	01:00	-1,7	-1,1	0	0	2,024846	212,9052
2015	1	1	02:00	-2	-1	0	0	2,236068	206,5651
2015	1	1	03:00	-2,4	-0,6	0	0	2,473863	194,0362
2015	1	1	04:00	-2,4	-0,4	0	0	2,433105	189,4623
2015	1	1	05:00	-1,9	-1	0,00000029	0,00029	2,147091	207,7585
2015	1	1	06:00	-2,1	-1,3	0	0	2,469818	211,7595
2015	1	1	07:00	-2,6	-0,8	0	0	2,720294	197,1027
2015	1	1	08:00	-2,9	-0,3	0	0	2,915476	185,9061
2015	1	1	09:00	-2,9	-0,3	0	0	2,915476	185,9061
2015	1	1	10:00	-2,7	-0,5	0	0	2,745906	190,4915
2015	1	1	11:00	-2,1	-0,4	0	0	2,137756	190,7843
2015	1	1	12:00	-1,5	-0,7	0	0	1,655295	205,0169
2015	1	1	13:00	-0,9	-1,2	0	0	1,5	233,1301
2015	1	1	14:00	-0,4	-1,7	0	0	1,746425	256,7595
2015	1	1	15:00	0,2	-2,2	0	0	2,209072	275,1944
2015	1	1	16:00	0,4	-2,4	0	0	2,433105	279,4623
2015	1	1	17:00	0,2	-2,7	0	0	2,707397	274,2364
2015	1	1	18:00	-0,7	-2,8	0	0	2,886174	255,9638
2015	1	1	19:00	-1,7	-1,9	0	0	2,54951	228,1798
2015	1	1	20:00	-1,5	-1	0	0	1,802776	213,6901
2015	1	1	21:00	-1,2	-0,9	0	0	1,5	216,8699
2015	1	1	22:00	-1,2	-0,8	0	0	1,442221	213,6901
2015	1	1	23:00	-1,7	-0,8	0,0000005	0,0005	1,878829	205,2011

5.3. Classificação dos eventos meteorológicos

5.3.1. Vento

Classificou-se um evento de vento forte, quando a velocidade do vento fosse igual ou superior a 6.5 m/s durante, pelo menos, 3 horas consecutivas, conforme a metodologia de Lopes et al, 2008b. No caso de interrupções de 3 horas, no mínimo, considerou-se um novo evento. Assim, para cada ano, foi feito o inventário dos eventos de vento forte existentes, contabilizando um total de 795 eventos (Tabela nº 7).

De acordo com a tabela nº 7, é possível perceber que o ano com maior número de eventos de vento forte foi 2018, num total de 102 eventos. Por outro lado, 2015 foi o ano com menor eventos de vento forte, somando 76 eventos.

Tabela 7. Eventos de vento forte no concelho do Porto

Fonte: Organizada pela autora a partir dos registos da base de dados elaborada pelo Regimento de Sapadores Bombeiros do Porto e dos dados de Copernicus Climate Change Service (C3S), 2024

Anos	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Total
2015	6	12	5	2	11	1	8	6	3	8	7	7	76
2016	14	10	9	14	3	8	10	8	3	3	6	4	92
2017	5	8	11	5	7	10	9	5	6	3	4	7	80
2018	12	10	14	12	6	6	3	9	0	11	14	5	102
2019	7	3	8	10	12	6	6	5	8	6	18	8	97
2020	14	4	10	7	6	8	11	8	3	9	8	13	101
2021	7	12	2	3	7	7	10	5	3	4	4	13	77
2022	2	2	11	9	8	8	5	4	6	9	10	10	84
2023	7	2	10	2	12	7	8	11	5	7	10	5	86
Total	74	63	80	64	72	61	70	61	37	60	81	72	795

5.3.2. Precipitação

Foi imperativo proceder à agregação da precipitação horária para cada dia em que ocorreram quedas de árvores, com o objetivo de classificar a precipitação diária acumulada. A classificação adotada baseou-se nos critérios estabelecidos pela Organização Meteorológica Mundial (OMM), conforme descrito na publicação (MATZLER, HOCKE, WANG, 2021). Segundo este documento, a precipitação é classificada em quatro categorias: fraca (< 5 mm), moderada (5-19 mm), forte (20-49 mm) e extrema (≥ 50 mm).

5.4. Cruzamento dos dados

Após a organização dos dados em tabelas no Excel, procedeu-se ao cruzamento desses dados com os registos de ocorrências de quedas de árvores. Este processo permitiu investigar a possível relação entre os eventos de queda de árvores e as condições meteorológicas registadas, especificamente a velocidade e direção do vento, assim como a quantidade de precipitação.

Para cada ocorrência de queda de árvore, foram consultados os dados climáticos correspondentes ao dia do evento. Se um evento de vento forte ou uma precipitação significativa estivesse registada na mesma data (ou nos dias anteriores) da queda, considerava-se que havia uma relação entre o evento climático e a ocorrência da queda.

5.4.1. Cruzamento das quedas de árvores com eventos de vento forte

Para cada ano em estudo, verificou-se, em cada dia de ocorrência de quedas de árvores, se existiam eventos de vento forte. Nos casos em que não ocorreram eventos de vento no dia da queda, averiguou-se a presença de eventos no dia anterior.

Assim, das 658 ocorrências de quedas de árvores, 401 ocorreram em dias com evento de vento forte e 257 em dias sem evento. No entanto, 64 destas ocorrências apresentaram evento de vento forte no dia anterior, o que significa que apenas 193 não tiveram relação com vento (Tabela nº 8).

Tabela 8. Quadro síntese das quedas de árvores relacionadas a eventos de vento forte no Porto

Fonte: Organizada pela autora a partir dos registos da base de dados elaborada pelo Regimento de Sapadores Bombeiros do Porto e dos dados de Copernicus Climate Change Service (C3S), 2024

Ano	Número total de quedas	Eventos de vento forte	Sem evento de vento forte	Evento vento forte no dia anterior	Queda sem relação ao vento
2015	10	5	5	1	4
2016	53	31	22	4	18
2017	85	42	43	10	33
2018	90	58	32	10	22
2019	98	73	25	8	17
2020	59	25	34	9	25
2021	70	38	32	7	25

2022	61	36	25	5	20
2023	132	93	39	10	29
Total	658	401	257	64	193

5.4.2. Cruzamento das quedas de árvores com os dados de precipitação

A metodologia aplicada para a análise da precipitação foi análoga à utilizada para correlacionar as quedas de árvores com eventos de vento forte. Para cada dia em que se registou uma queda de árvores, examinou-se o tipo de precipitação ocorrido, permitindo uma compreensão detalhada da influência das condições meteorológicas sobre tais eventos. Este procedimento não só reforça a consistência metodológica do estudo, mas também assegura a utilização de critérios internacionalmente reconhecidos para a análise climatológica em eventos de queda de árvores.

Concluiu-se que das 658 ocorrências, 115 decorreram em dias sem precipitação, 261 com precipitação fraca, 141 com precipitação moderada, 111 com precipitação forte, e 30 com precipitação extrema (Tabela nº 9).

Uma vez que, a presença de precipitação fraca no dia da ocorrência de queda de árvore por si só pode não justificar a queda, contabilizou-se três dias de precipitação, o dia da queda e dois dias anteriores.

A análise da precipitação acumulada torna-se importante para este estudo, isto porque a precipitação prolongada pode originar a saturação dos solos. Este processo ocorre quando existe o preenchimento dos poros, dificultando a circulação do oxigénio disponível. Neste caso, e devido à falta de oxigénio, as raízes das árvores apodrecem e comprometem a sua estabilidade, resultando no aumento da probabilidade de queda de árvores (Florestas, 2024).

Deste modo, das 376 ocorrências de quedas de árvores em dias sem precipitação e dias com precipitação fraca, verificou-se que 341 apresentavam precipitação acumulada durante três dias consecutivos, o que significa que apenas 35 ocorrências não apresentam relação com períodos de precipitação diária ou acumulada (Tabelas nº 9 e 10).

Tabela 9. Quadro síntese da classificação da precipitação acumulada nos dias das quedas de árvores

Fonte: Organizada pela autora a partir dos registos da base de dados elaborada pelo Regimento de Sapadores Bombeiros do Porto e dos dados de Copernicus Climate Change Service (C3S), 2024

Ano	Número de quedas	Precipitação Fraca	Precipitação Moderada	Precipitação Forte	Precipitação Extrema	Precipitação nula	Precipitação acumulada	Queda sem relação à precipitação
2015	10	9	1	0	0	0	9	0
2016	53	22	7	12	0	12	29	5
2017	85	45	12	7	0	21	63	3
2018	90	40	21	12	0	17	51	6
2019	98	21	30	6	26	15	31	5
2020	59	28	11	6	0	14	38	4
2021	70	31	17	7	3	12	38	5
2022	61	32	12	12	0	5	35	2
2023	132	33	30	49	1	19	47	5
Total	658	261	141	111	30	115	341	35

Tabela 10.Fórmula utilizada para a obtenção de ocorrências sem relação à presença de precipitação

Fonte: Organizada pela autora a partir dos registos da base de dados elaborada pelo Regimento de Sapadores Bombeiros do Porto e dos dados de Copernicus Climate Change Service (C3S), 2024

Ocorrências sem relação à presença de precipitação	((Precipitação fraca + Precipitação nula) - (precipitação acumulada)) Onde: • O valor da precipitação nula corresponde aos dias de queda de árvores sem precipitação. • O valor da precipitação fraca diz respeito aos valores menores que 5 mm nos dias de quedas de árvores. • O valor da precipitação acumulada significa o número de ocorrências que no dia da queda, apesar de apresentaram valores de precipitação nula ou fraca, mostraram precipitação concentrada nos dois dias anteriores.
--	---

6. Resultados

A distribuição espacial das quedas de árvores foi mapeada utilizando o ArcMap, o que facilitou a visualização das áreas mais afetadas e a correlação com os padrões meteorológicos locais. Este mapeamento é essencial para identificar zonas de maior ocorrência de eventos, o que permite a formulação de propostas de medidas preventivas e se caracteriza como o passo inicial para a elaboração de mapas de suscetibilidade de quedas de árvores, que são essenciais para o planejamento a longo prazo.

6.1. Ocorrências de quedas de árvores na presença de eventos de ventos fortes

6.1.1. 2015

Em 2015, foram documentadas ocorrências de queda de árvores concomitantes a períodos de eventos de vento forte. Do total de 10 ocorrências registradas nesse ano, 5 coincidiram com a época de eventos intensos de vento e 5 ocorreram em períodos sem eventos de vento forte. Adicionalmente, verificou-se que uma das ocorrências sucedeu um dia após um evento de vento forte, indicando que 4 ocorrências não estiveram relacionadas com condições de vento (Figura nº 8).

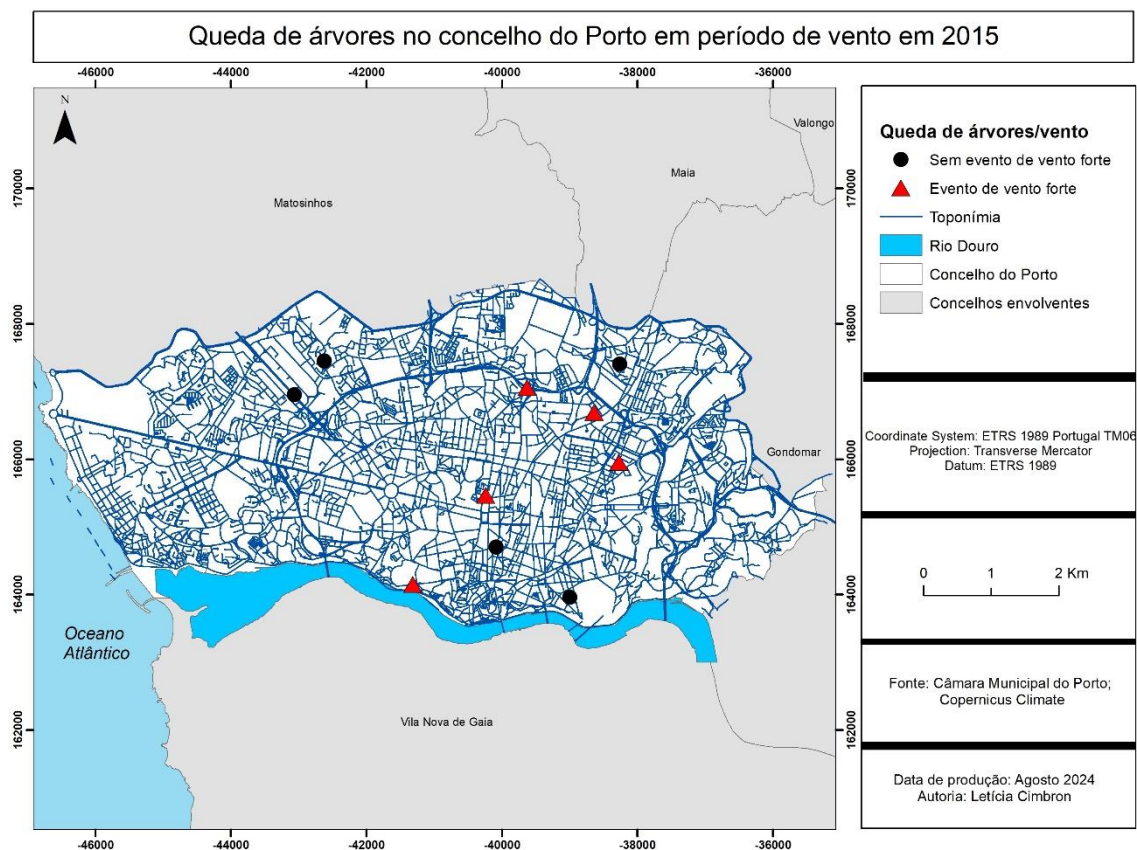


Figura 8. Queda de árvores no Porto em período de vento em 2015
Fonte: Câmara Municipal do Porto; Copernicus Climate Change Service (C3S), 2024
Autoria: Letícia Cimbron

6.1.2. 2016

No ano de 2016, observaram-se várias ocorrências de quedas de árvores durante períodos caracterizados por eventos de vento forte. Do total de 53 ocorrências registadas, 31 foram durante episódios de vento intensificado, enquanto 22 sucederam em períodos sem eventos de vento significativo. Adicionalmente, 4 das ocorrências ocorreram subsequentemente a dias que registaram ventos fortes, implicando que 18 destas não estavam associadas a condições meteorológicas adversas relacionadas com o vento (Figura nº 9).

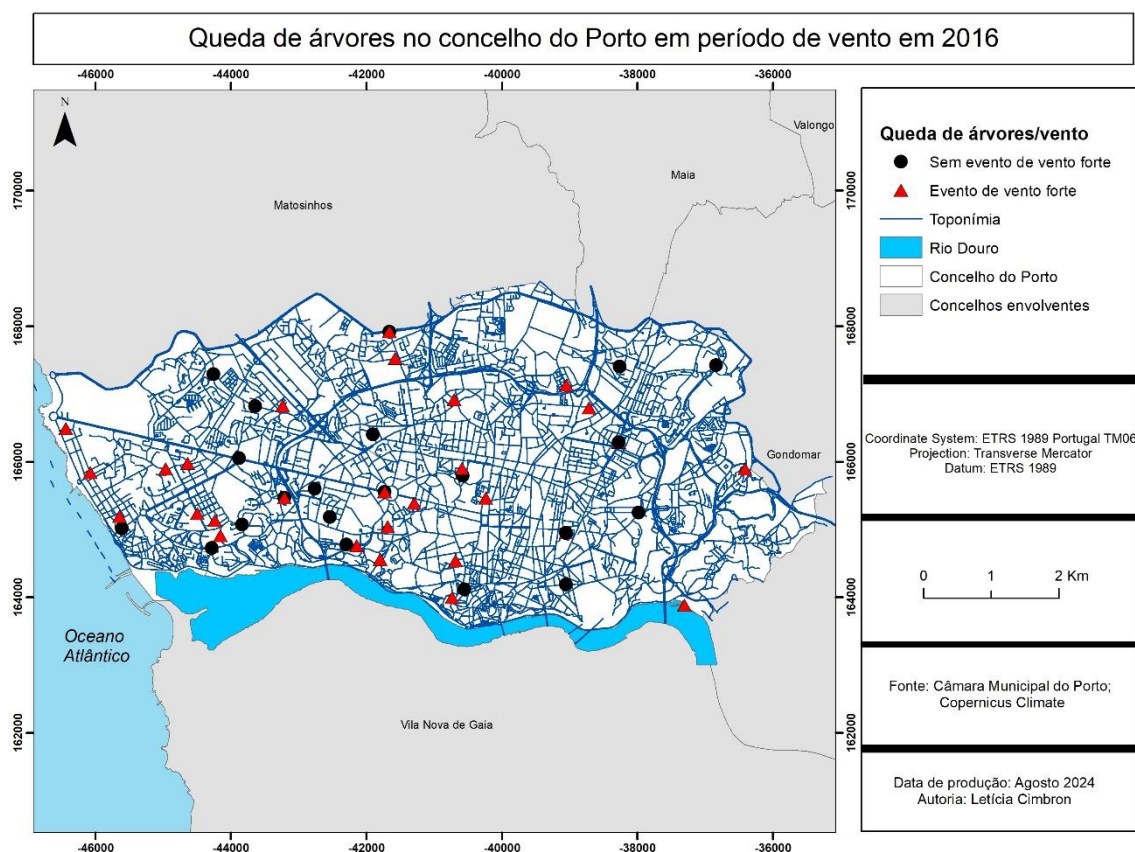


Figura 9. Queda de árvores no Porto em período de vento em 2016
Fonte: Câmara Municipal do Porto; Copernicus Climate Change Service (C3S), 2024
Autoria: Letícia Cimbron

6.1.3. 2017

No ano de 2017, registou-se um número significativo de quedas de árvores associadas a períodos de eventos de vento forte. Das 85 ocorrências documentadas, 42 ocorreram concomitantemente com eventos intensos de vento, enquanto 43 não coincidiram com eventos de vento forte. Adicionalmente, registou-se que 10 ocorrências tiveram lugar no dia seguinte a um evento de vento forte, indicando que 33 ocorrências não apresentavam uma relação direta com condições de vento acentuado. (Figura nº 10).

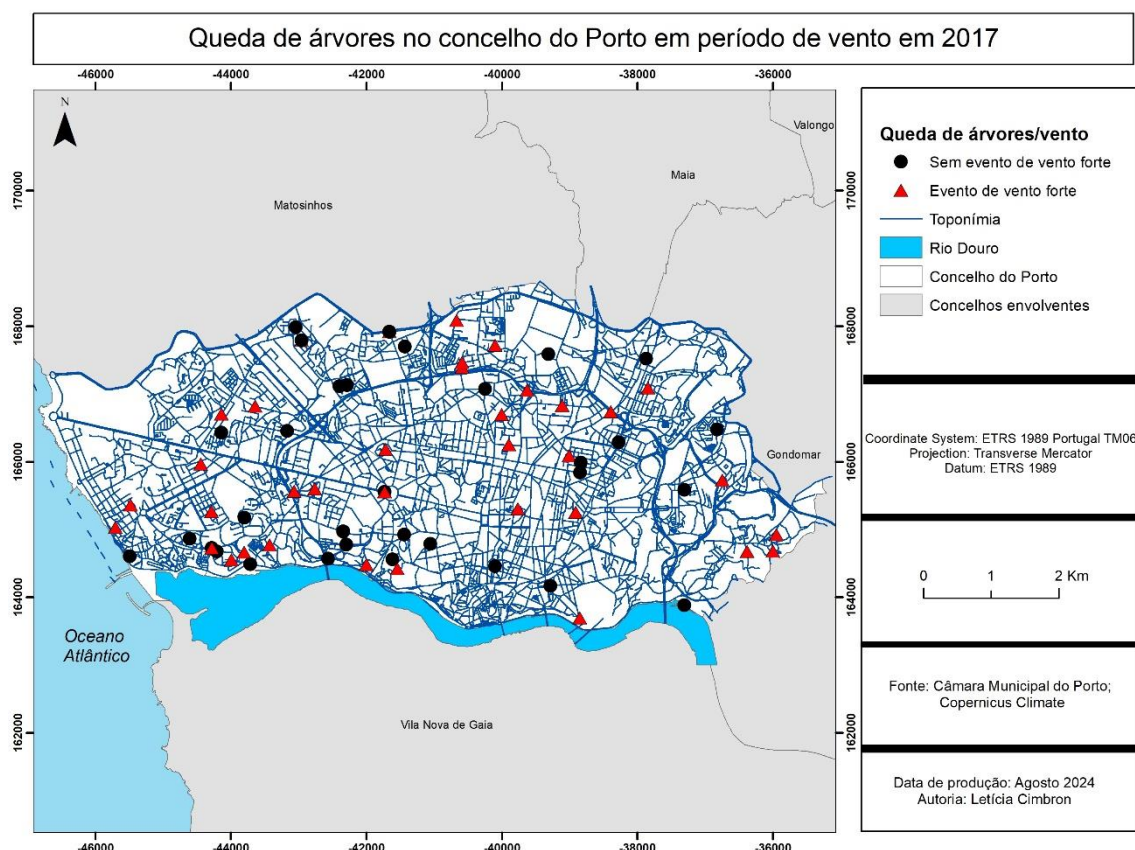


Figura 10. Queda de árvores no Porto em período de vento em 2017
Fonte: Câmara Municipal do Porto; Copernicus Climate Change Service (C3S), 2024
Autoria: Letícia Cimbron

6.1.4. 2018

Durante o ano de 2018, observaram-se várias quedas de árvores em contexto de eventos de vento forte. Do total de 90 ocorrências registadas, 58 tiveram lugar durante períodos de vento intenso, ao passo que 32 ocorreram em momentos sem registo de vento forte. Adicionalmente, 10 das ocorrências verificaram-se no dia seguinte a eventos de vento forte, sugerindo que 22 das ocorrências não estavam associadas a condições meteorológicas de vento acentuado (Figura nº 11)

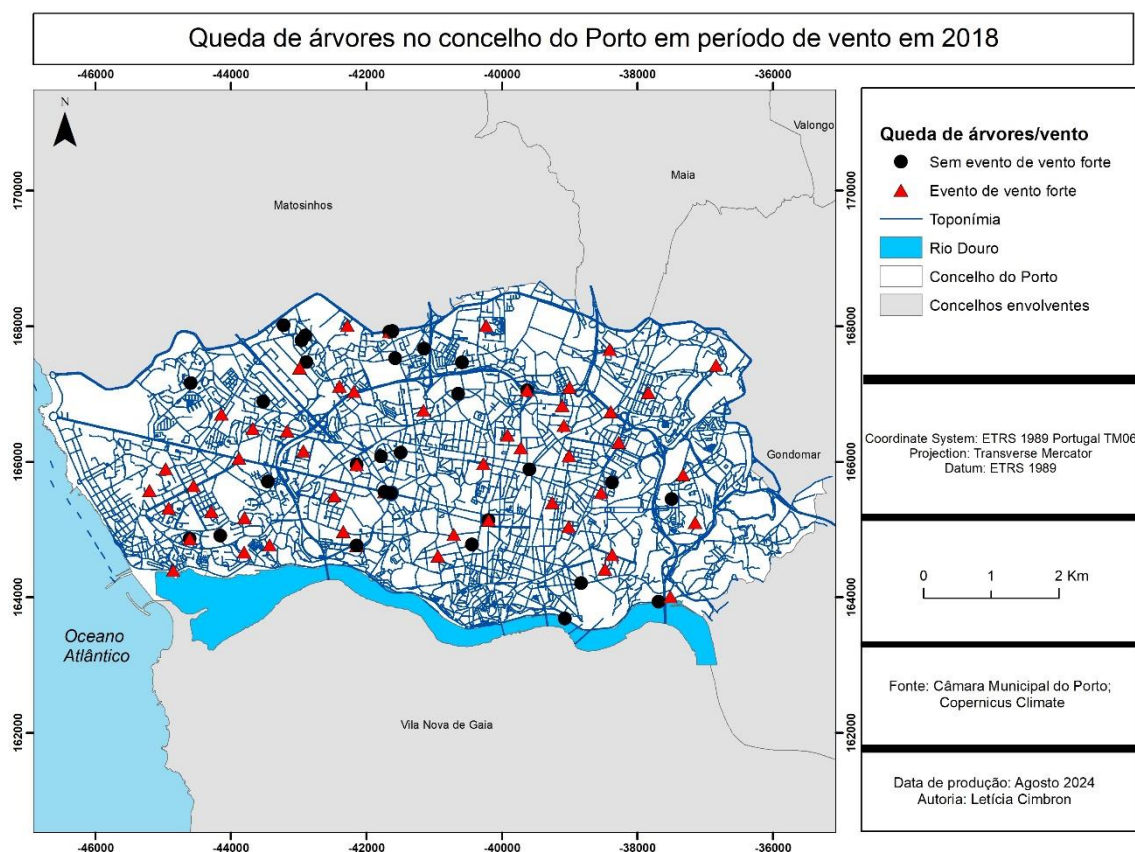


Figura 11. Queda de árvores no concelho do Porto em período de vento em 2018
Fonte: Câmara Municipal do Porto; Copernicus Climate Change Service (C3S), 2024
Autoria: Letícia Cimbron

6.1.5. 2019

No decorrer do ano de 2019, das 98 ocorrências registadas, 73 ocorreram concomitantemente com períodos de vento intensificado, enquanto 25 não coincidiram com eventos de vento forte. Adicionalmente, registou-se que 8 ocorrências se verificaram no dia subsequente a um evento de vento forte, o que implica que 17 das ocorrências não estiveram associadas a condições de vento significativo (Figura nº 12).

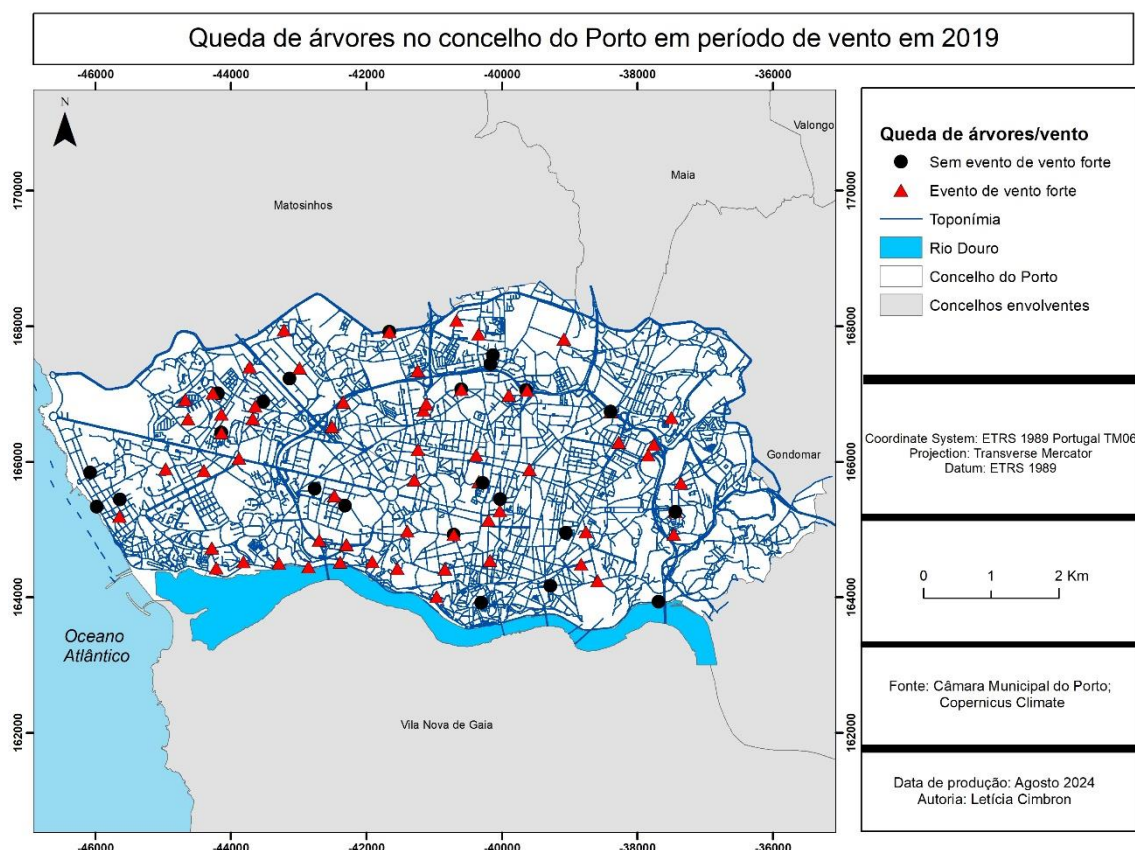


Figura 12. Queda de árvores no Porto em período de vento em 2019
Fonte: Câmara Municipal do Porto; Copernicus Climate Change Service (C3S), 2024
Autoria: Letícia Cimbron

6.1.6. 2020

No ano de 2020, foram registadas várias ocorrências de quedas de árvores durante eventos de vento forte. Do total de 59 ocorrências documentadas, 25 registaram-se durante eventos intensos de vento, enquanto 34 sucederam em períodos sem vento forte. Notavelmente, 9 das ocorrências deram-se um dia após eventos de vento forte, indicando que 25 das ocorrências não estavam relacionadas com condições meteorológicas de vento significativo (Figura nº 13).

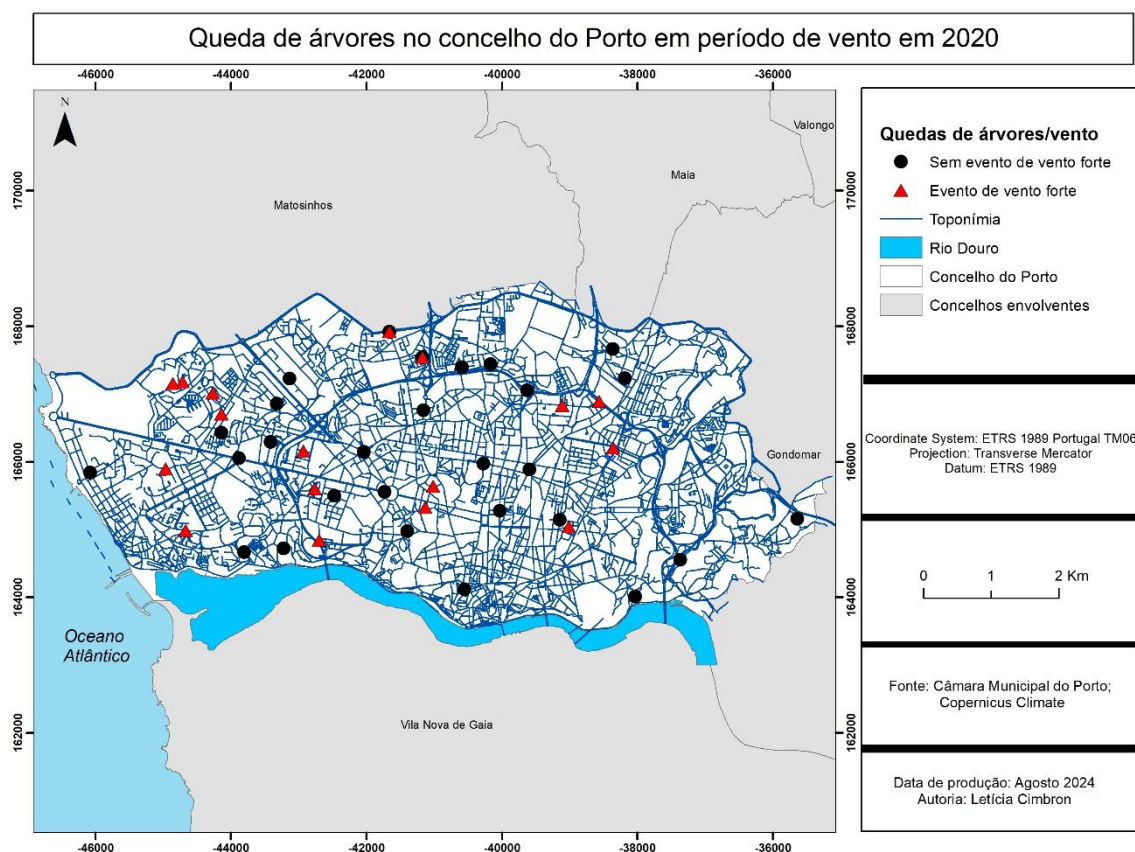


Figura 13. Queda de árvores no Porto em período de vento em 2020
Fonte: Câmara Municipal do Porto; Copernicus Climate Change Service (C3S), 2024
Autoria: Letícia Cimbron

6.1.7. 2021

No ano de 2021, das 70 ocorrências registadas, 38 sucederam durante eventos de ventos fortes e 32 sem eventos de ventos fortes. Em contrapartida, 7 ocorrências apresentaram eventos de ventos fortes no dia anterior, o que significa que 25 ocorrências não tiveram relação com o vento (Figura nº 14).

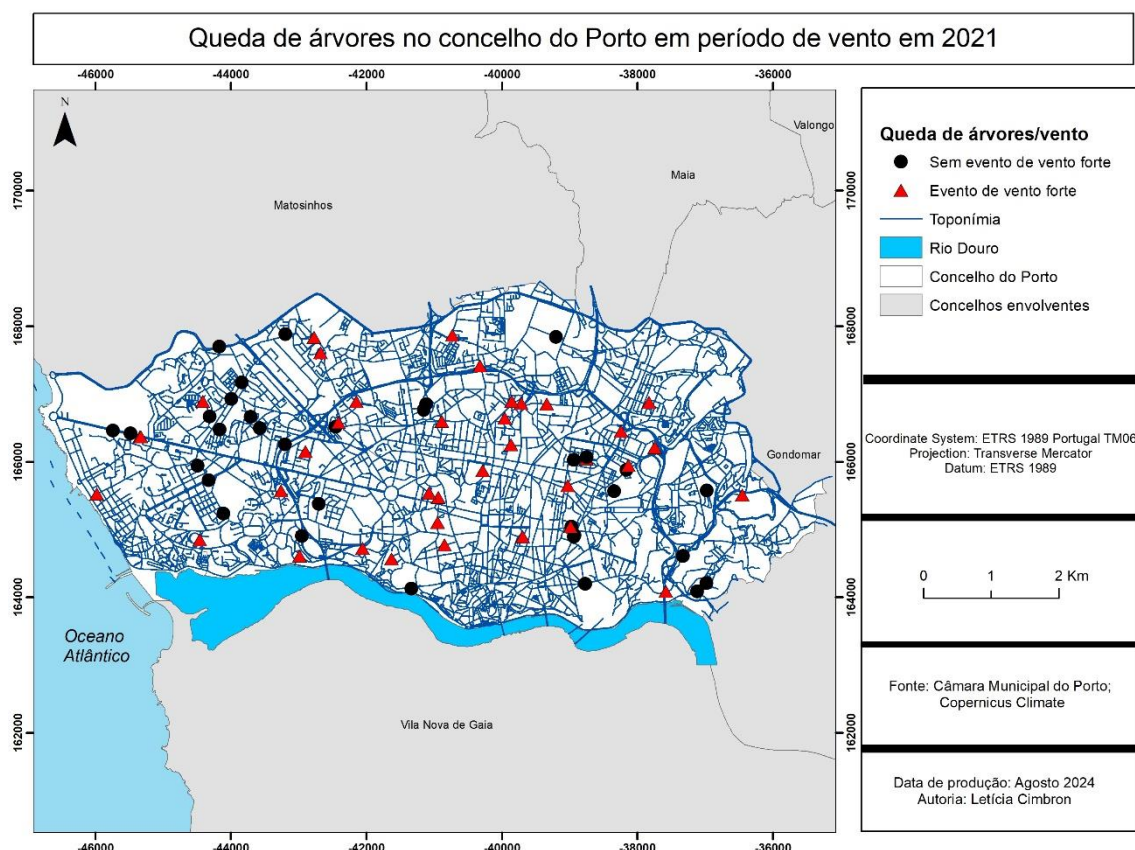


Figura 14. Queda de árvores no Porto em período de vento em 2021
Fonte: Câmara Municipal do Porto; Copernicus Climate Change Service (C3S), 2024
Autoria: Letícia Cimbron

6.1.8. 2022

No ano de 2022, das 61 ocorrências registadas, 36 ocorreram concomitantemente com períodos de vento intensificado, enquanto 25 aconteceram em momentos sem vento forte. Além disso, verificou-se que 5 das ocorrências ocorreram no dia seguinte a um evento de vento forte, o que indica que 20 das ocorrências não estavam relacionadas com condições meteorológicas adversas de vento (Figura nº 15).

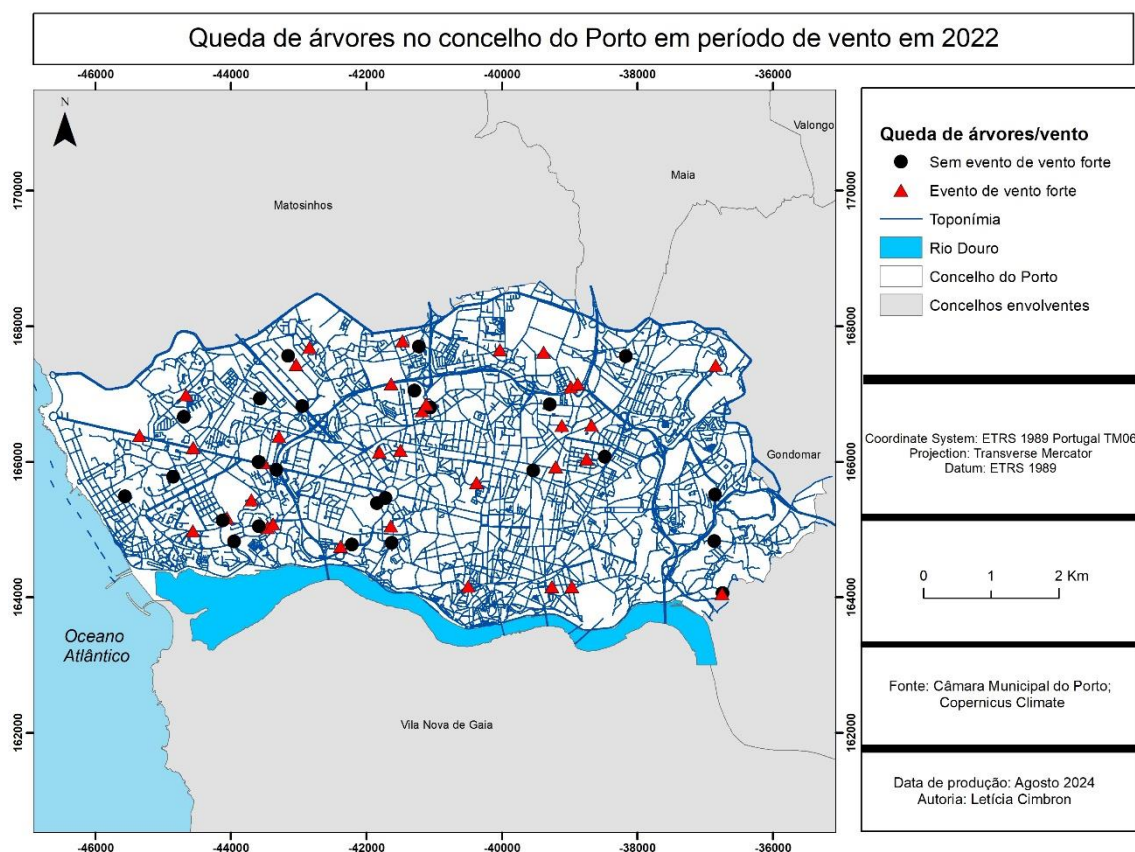


Figura 15. Queda de árvores no Porto em período de vento em 2022
Fonte: Câmara Municipal do Porto; Copernicus Climate Change Service (C3S), 2024
Autoria: Letícia Cimbron

6.1.9. 2023

Finalmente, no ano de 2023, das 132 ocorrências registadas, 93 foram durante episódios de vento intensificado, enquanto 39 ocorreram em períodos sem eventos significativos de vento forte. Adicionalmente, constatou-se que 10 ocorrências sucederam no dia subsequente a eventos de vento forte, evidenciando que 29 das ocorrências não estavam associadas a condições de vento acentuado (Figura nº 16).

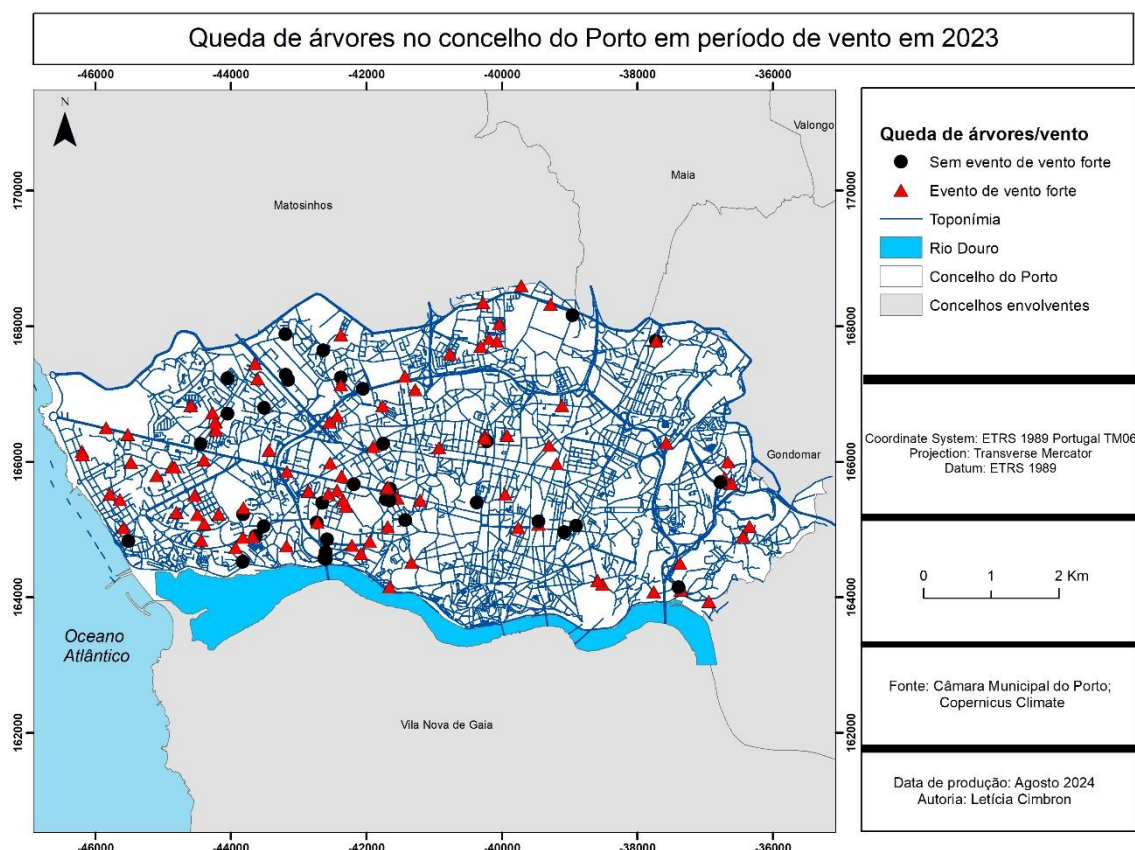


Figura 16. Queda de árvores no Porto em período de vento em 2023
Fonte: Câmara Municipal do Porto; Copernicus Climate Change Service (C3S), 2024
Autoria: Letícia Cimbron

6.1.10. Diagrama de vento

Para a elaboração do diagrama de vento referente aos anos de 2015 a 2023, utilizou-se o programa WRPLOT View Freeware 8.0.2². Inicialmente, compilou-se uma tabela no Excel que incluía ano, mês, dia, hora, e os dados relativos à velocidade e direção do vento durante o período estudado.

² O WRPLOT View Freeware 8.0.2 é um programa gratuito que permite analisar e visualizar dados de vento através de diagramas de rosa dos ventos. É utilizado principalmente para estudos climatológicos e avaliação de impacto ambiental, oferecendo funcionalidades como a inserção de dados meteorológicos e exportação de gráficos para plataformas como Google Earth e sistemas GIS. Esta ferramenta é útil para profissionais do meio ambiente e pesquisadores que estudam padrões de vento.

Essa tabela foi posteriormente integrada ao programa, inserindo as coordenadas geográficas de 41° 9' 0" Norte e 8° 36' 37" Oeste, correspondentes ao ponto central do concelho do Porto. O gráfico resultante foi exportado para o Google Earth Pro e para o Arcmap para análises subsequentes.

Contudo, as limitações do programa WRPLOT View em permitir a adição de apenas uma coordenada implicou que o diagrama não representasse a totalidade do concelho do Porto. Este aspeto constitui uma restrição na análise espacial, uma vez que a localização central pode não refletir as variações microclimáticas em todo o concelho.

A análise do diagrama (Figura nº 17) revela que os ventos predominantes nos quadrantes noroeste e sudoeste apresentam velocidades na categoria de 2.1 m/s a 3.6 m/s. Observam-se também categorias subsequentes de 3.6 m/s a 5.7 m/s e de 5.7 m/s a 8.8 m/s, indicando uma tendência de ventos moderados na região. Em contraste, ventos com velocidades de 8.8 m/s a 11.1 m/s e superiores a 11.1 m/s são menos frequentes, sugerindo uma menor incidência de ventos fortes na área central estudada.

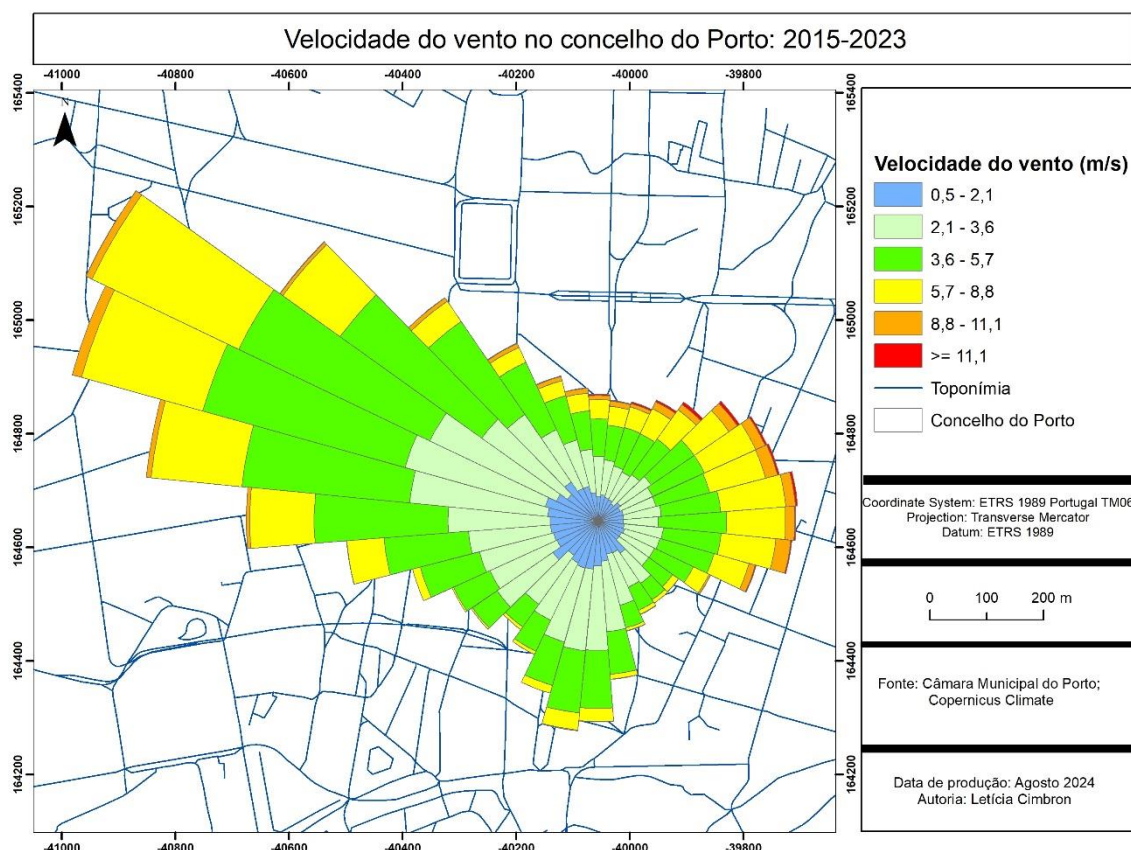


Figura 17. Direção e velocidade do vento no concelho do Porto
Fonte: Câmara Municipal do Porto; Copernicus Climate Change Service (C3S), 2024
Autoria: Letícia Cimbron

Apesar de o diagrama não abranger integralmente o município, a análise do mapa (Figura nº 18) permite concluir que a maioria das quedas de árvores no concelho ocorreu em locais com predominância de ventos de noroeste a sudoeste. Este padrão é consistente com os dados reportados nos estudos realizados por Lopes et al. (2007) e Giachetti et al. (2021), que também destacam a correlação entre direções de vento e incidentes de quedas de árvores em áreas urbanas.

Estes resultados evidenciam a necessidade de considerar dados locais e específicos ao analisar padrões climáticos e seus efeitos em ambientes urbanos, contribuindo para melhor planeamento e gestão de riscos associados a eventos meteorológicos extremos.

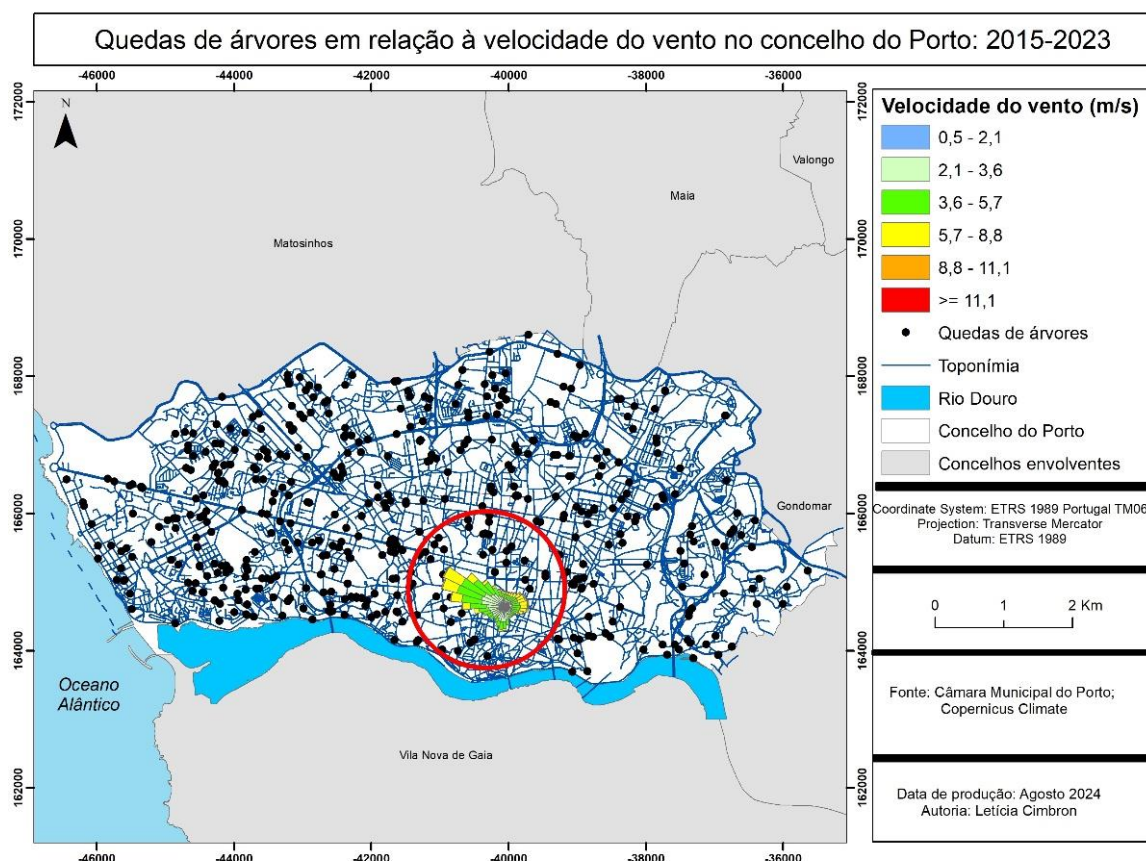


Figura 18. Quedas de árvores no Porto em relação à direção e velocidade do vento: 2015-2023

Fonte: Câmara Municipal do Porto; Copernicus Climate Change Service (C3S), 2024

Autoria: Letícia Cimbron

6.2. Ocorrências de quedas de árvores na presença de precipitação

6.2.1. 2015

Em 2015, verificou-se que ocorreram quedas de árvores em períodos de precipitação fraca e moderada. Das 10 ocorrências registadas nesse ano, 9 deram-se durante a época de precipitação fraca e 1 em período de precipitação moderada. No entanto, todas as ocorrências decorridas em período de precipitação fraca, apresentaram precipitação acumulada nos dois dias anteriores (Figura nº 19).

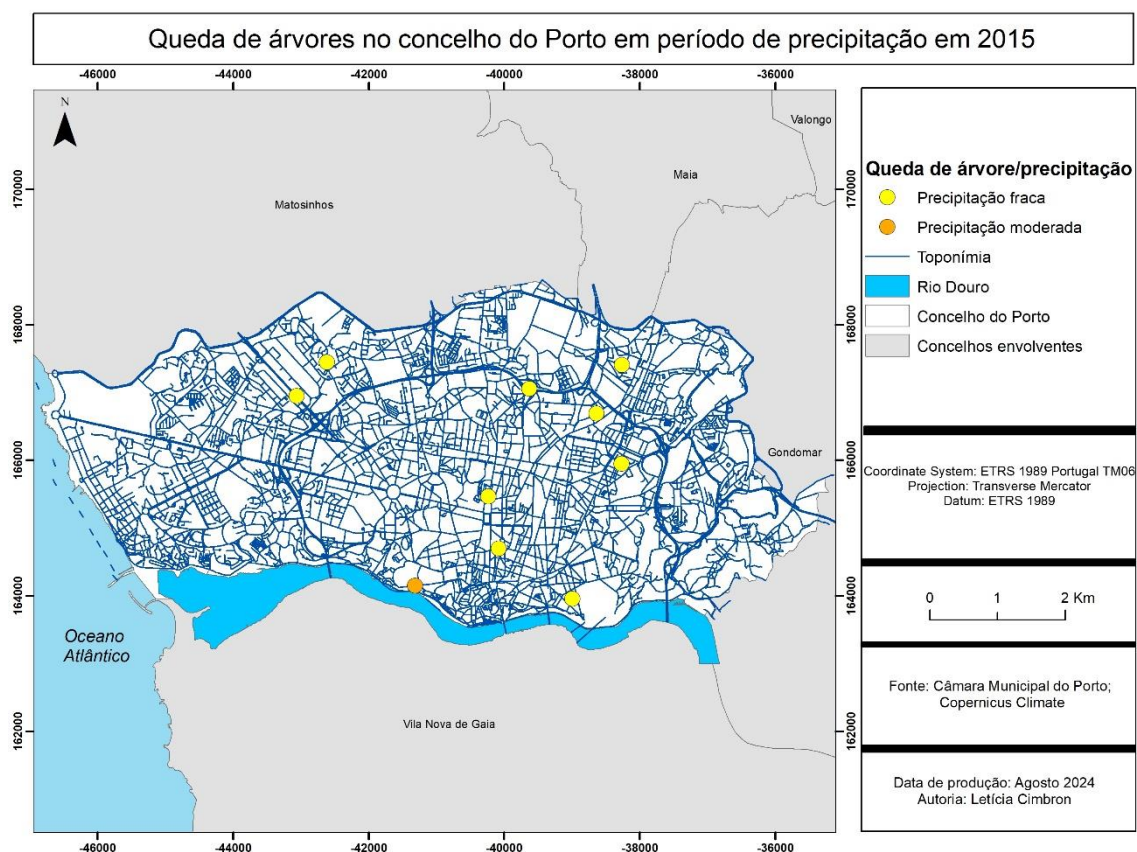


Figura 19. Queda de árvores no Porto em período de precipitação em 2015
Fonte: Câmara Municipal do Porto, Copernicus Climate Change Service (C3S), 2024
Autoria: Letícia Cimbron

6.2.2. 2016

Em 2016, registaram-se ocorrências de queda de árvores em períodos de precipitação nula, fraca, moderada e forte. Das 53 ocorrências registadas nesse ano, 22 transcorreram durante a época precipitação fraca, 7 em período de precipitação moderada e 12 em altura de precipitação forte. Em contrapartida, 12 ocorrências decorreram em períodos com precipitação nula (Figura nº 20).

Das 34 ocorrências (precipitação fraca + precipitação nula), 29 retrataram precipitação acumulada no dia da queda e dois dias anteriores, o que significa que apenas 5 quedas de árvores aconteceram sem relação à precipitação.

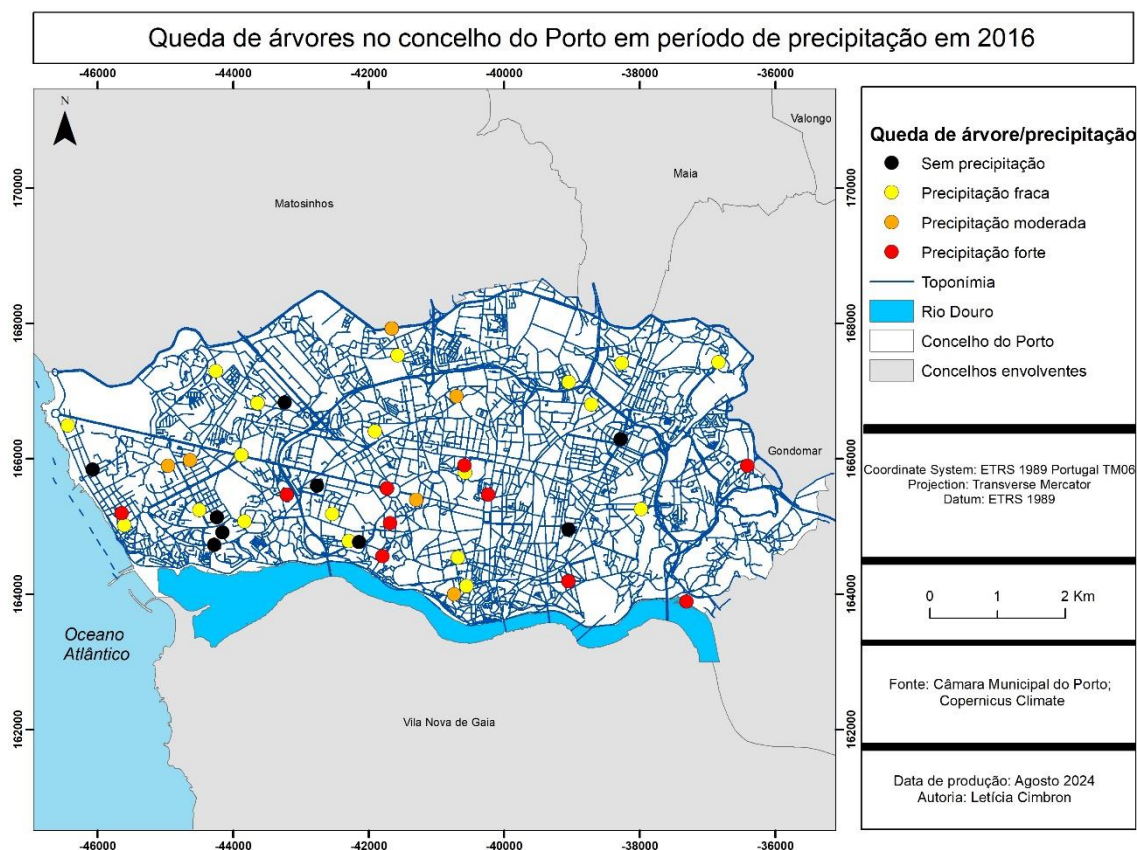


Figura 20. Queda de árvores no Porto em período de precipitação em 2016
Fonte: Câmara Municipal do Porto, Copernicus Climate Change Service (C3S), 2024
Autoria: Leticia Cimbron

6.2.3. 2017

Em 2017, registaram-se ocorrências de queda de árvores em períodos de precipitação nula, fraca, moderada e forte. Das 85 ocorrências registadas nesse ano, 45 decorreram em período de precipitação fraca, 12 com precipitação moderada e 7 com precipitação forte. Em contrapartida, 21 ocorrências decorreram em períodos com precipitação nula (Figura nº 21).

Das 66 ocorrências (precipitação fraca + precipitação nula), 63 estão relacionadas com a precipitação acumulada no dia da queda e dois dias anteriores, o que significa que apenas 3 quedas de árvores ocorreram sem qualquer relação à precipitação.

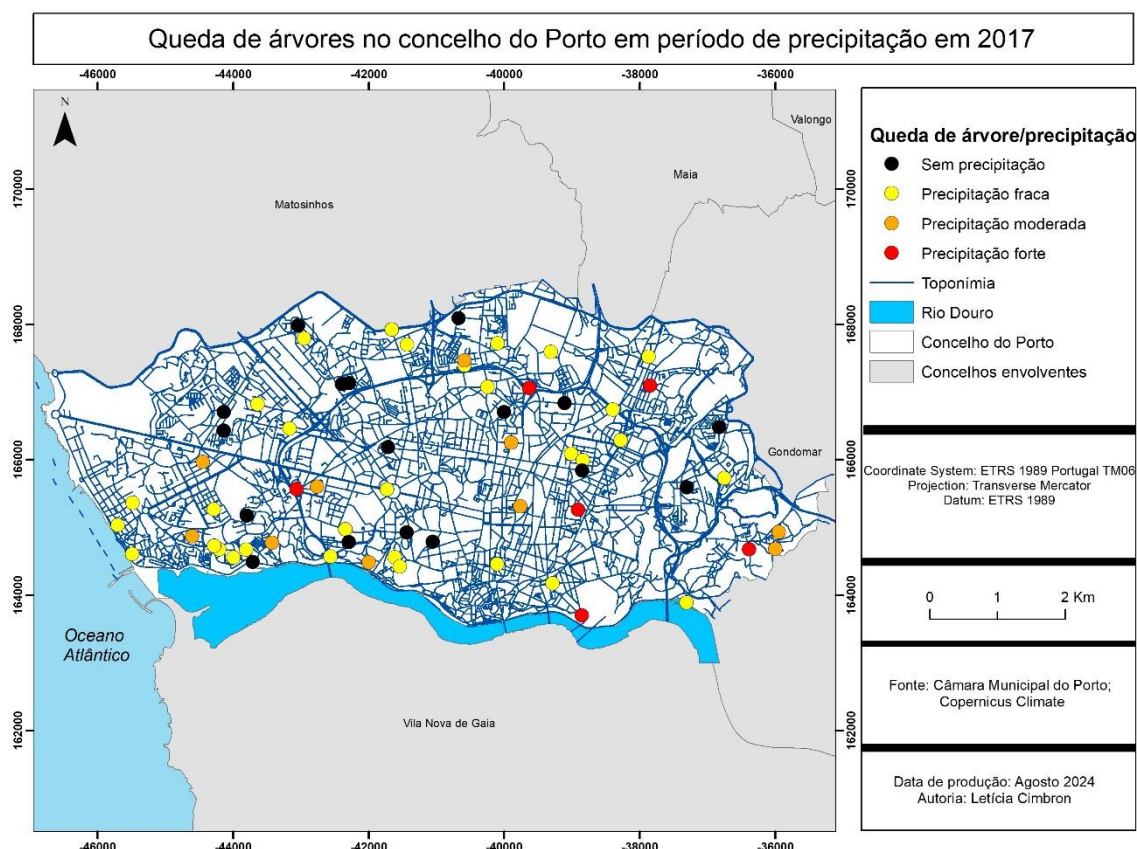


Figura 21. Queda de árvores no Porto em período de precipitação em 2017
Fonte: Câmara Municipal do Porto, Copernicus Climate Change Service (C3S), 2024
Autoria: Letícia Cimbron

6.2.4. 2018

Em 2018, verificou-se que ocorreram quedas de árvores em períodos precipitação nula, fraca, moderada e forte. Das 90 ocorrências registadas, 40 deram-se durante a época de precipitação fraca, 21 em período de precipitação moderada, 12 em fase de precipitação forte e 17 decorreram com precipitação nula (Figura nº 22).

No entanto, das 57 ocorrências (precipitação fraca + precipitação nula), 51 apresentaram precipitação acumulada no dia da queda e dois dias anteriores, o que retrata 6 quedas de árvores sem relação com precipitação.

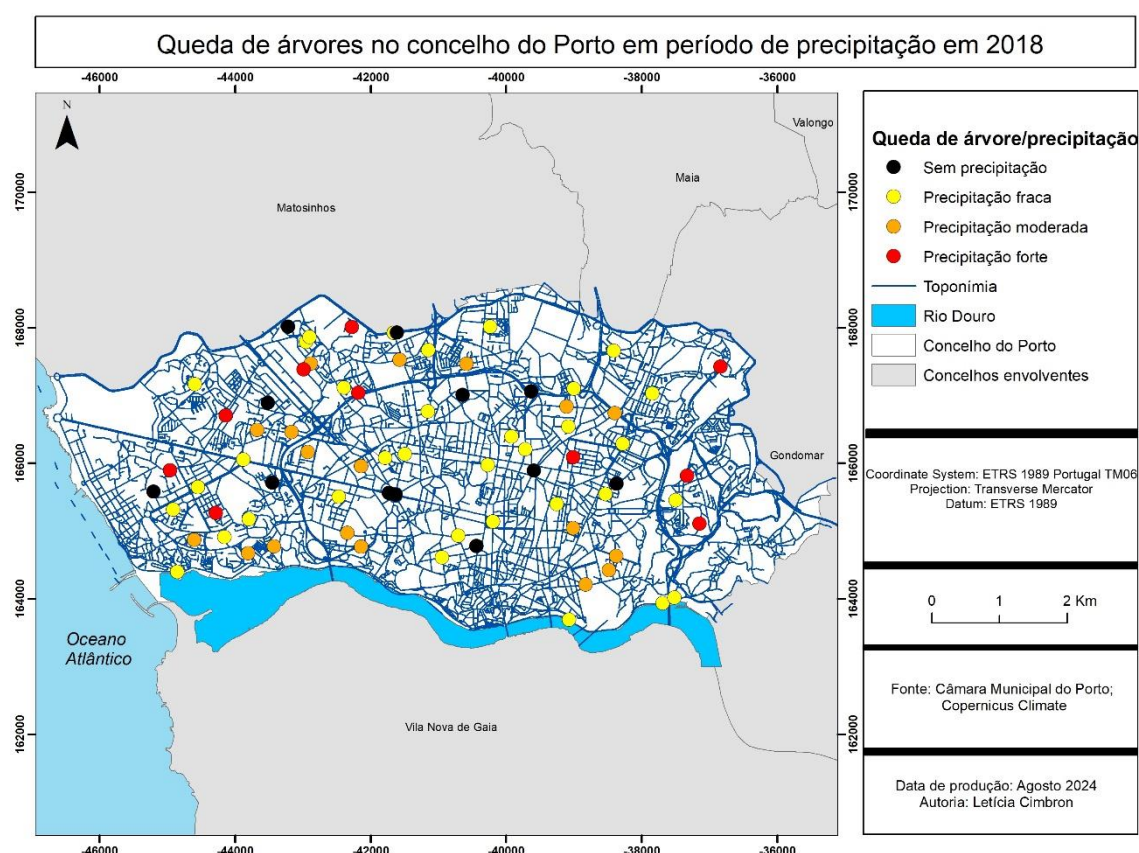


Figura 22. Queda de árvores no Porto em período de precipitação em 2018
Fonte: Câmara Municipal do Porto, Copernicus Climate Change Service (C3S), 2024
Autoria: Letícia Cimbron

6.2.5. 2019

Em 2019, registaram-se ocorrências de queda de árvores em períodos de precipitação nula, fraca, moderada, forte e extrema. Das 98 ocorrências registadas nesse ano, 21 transcorreram durante a época precipitação fraca, 30 em período de precipitação moderada, 6 em altura de precipitação forte e 26 em período de precipitação extrema. Em contrapartida, 15 ocorrências aconteceram com precipitação nula (Figura nº 23).

Das 36 ocorrências (precipitação fraca + precipitação nula), 31 indicam presença de precipitação acumulada no dia da queda e dois dias anteriores, o que significa que apenas 5 quedas de árvores aconteceram sem relação à precipitação.

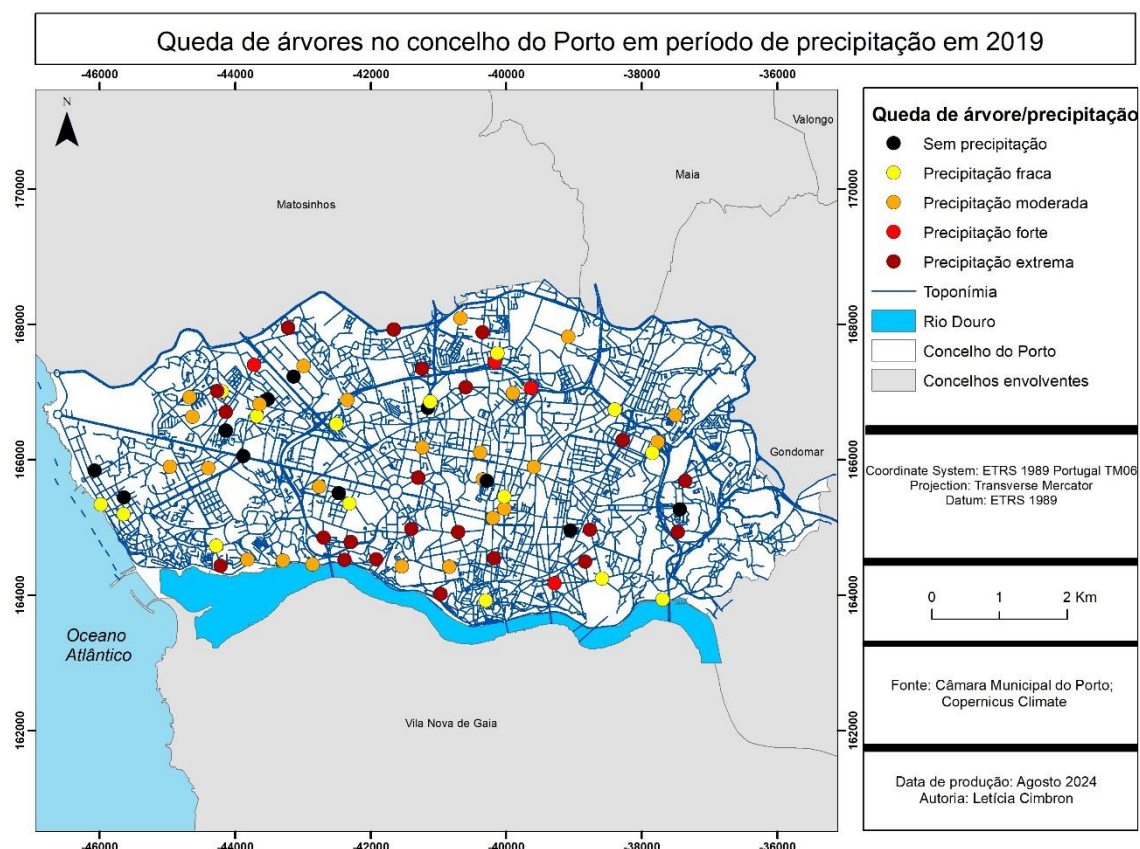


Figura 23. Queda de árvores no Porto em período de precipitação em 2019
Fonte: Câmara Municipal do Porto, Copernicus Climate Change Service (C3S), 2024
Autoria: Letícia Cimbron

6.2.6. 2020

No ano de 2020, registaram-se ocorrências de queda de árvores em períodos de precipitação nula, fraca, moderada e forte. Das 59 ocorrências registadas, 28 decorreram em época de precipitação fraca, 11 em período de precipitação moderada e 6 em fase de precipitação forte. Em contrapartida, 14 ocorrências decorreram em períodos com precipitação nula (Figura nº 24).

Das 42 ocorrências (precipitação fraca + precipitação nula), 38 tiveram a presença de precipitação acumulada no dia da queda e dois dias anteriores, o que significa que apenas 4 quedas de árvores ocorreram sem qualquer relação à precipitação.

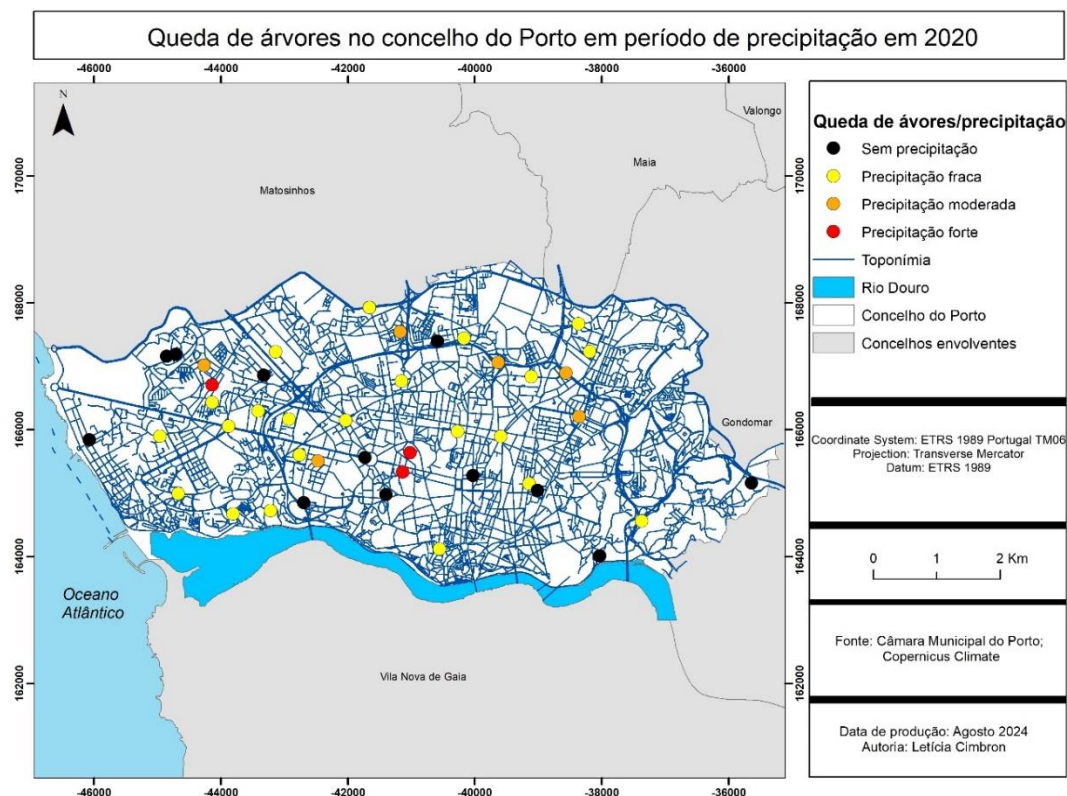


Figura 24. Queda de árvores no Porto em período de precipitação em 2020
Fonte: Câmara Municipal do Porto, Copernicus Climate Change Service (C3S), 2024
Autoria: Letícia Cimbron

6.2.7. 2021

Em 2021, registaram-se ocorrências de queda de árvores em períodos de precipitação nula, fraca, moderada, forte e extrema. Das 70 ocorrências registadas nesse ano, 31 transcorreram durante a época precipitação fraca, 17 em período de precipitação moderada, 7 em altura de precipitação forte e 3 com precipitação extrema. Em contrapartida, 12 ocorrências aconteceram com precipitação nula (Figura nº 25).

Das 43 ocorrências decorridas com precipitação fraca e nula, 38 indicam presença de precipitação acumulada no dia da queda e dois dias anteriores, o que significa que apenas 5 quedas de árvores aconteceram sem relação à precipitação.

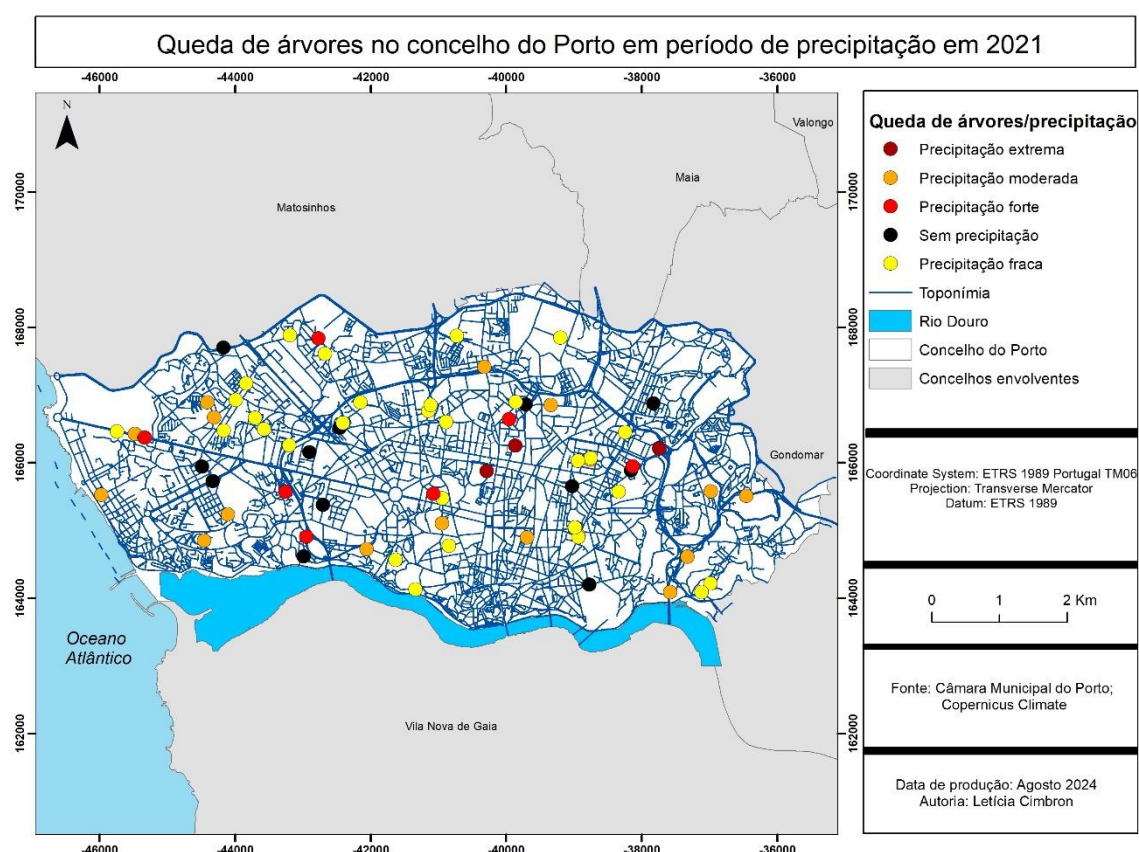


Figura 25. Queda de árvores no Porto em período de precipitação em 2021
Fonte: Câmara Municipal do Porto, Copernicus Climate Change Service (C3S), 2024
Autoria: Letícia Cimbron

6.2.8. 2022

Em 2022, registaram-se ocorrências de queda de árvores em períodos de precipitação nula, fraca, moderada e forte. Das 61 ocorrências registadas nesse ano, 32 decorreram durante a época de precipitação fraca, 12 em período de precipitação moderada e 7 em altura de precipitação forte. Em contrapartida, 5 ocorrências aconteceram com precipitação nula (Figura nº 26).

Das 37 ocorrências decorridas com precipitação fraca e nula, 35 indicam a presença de precipitação acumulada no dia da queda e dois dias anteriores, o que significa que apenas 2 quedas de árvores aconteceram sem relação à precipitação.

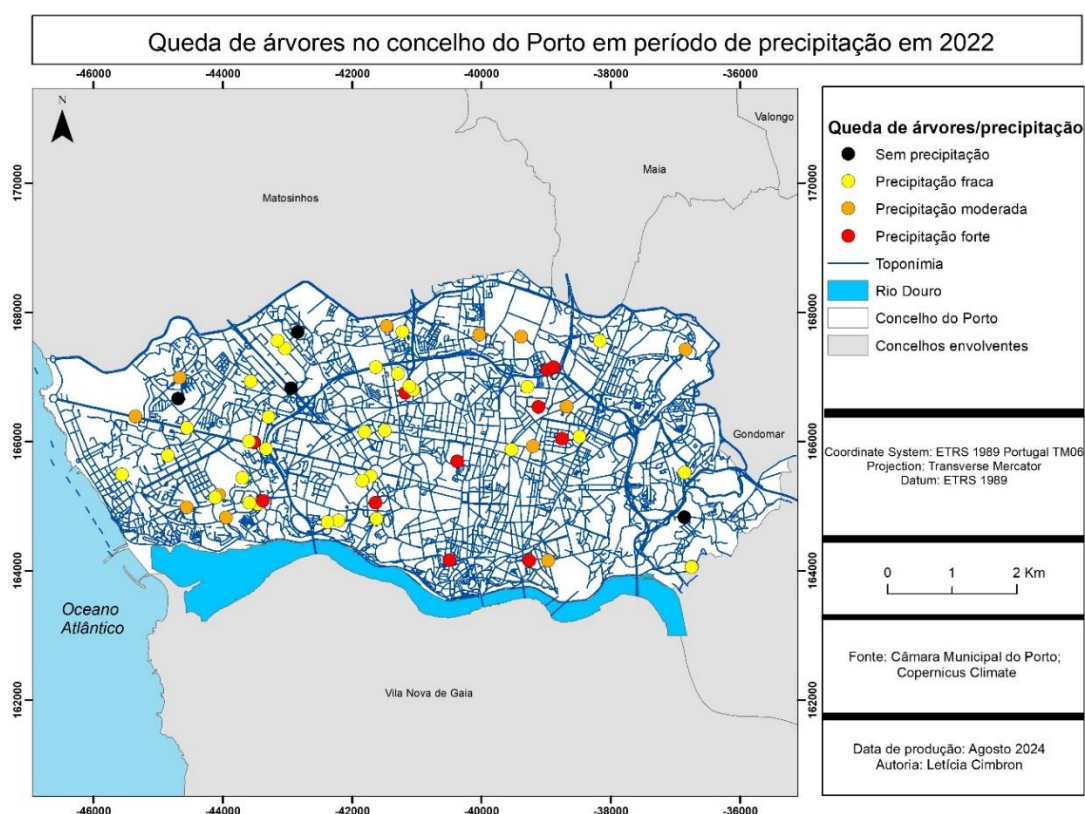


Figura 26. Queda de árvores no Porto em período de precipitação em 2022
Fonte: Câmara Municipal do Porto, Copernicus Climate Change Service (C3S), 2024
Autoria: Letícia Cimbron

6.2.9. 2023

Em 2023, registaram-se ocorrências de queda de árvores em períodos de precipitação nula, fraca, moderada, forte e extrema. Das 132 ocorrências registadas nesse ano, 33 transcorreram durante a época precipitação fraca, 30 em período de precipitação moderada, 49 em altura de precipitação forte e 1 em tempo de precipitação extrema. Em contrapartida, 19 ocorrências aconteceram com precipitação nula (Figura nº 27).

Das 52 ocorrências com precipitação nula e fraca, 47 indicam presença de precipitação acumulada no dia da queda e dois dias anteriores, o que significa que apenas 5 quedas de árvores aconteceram sem relação à precipitação.

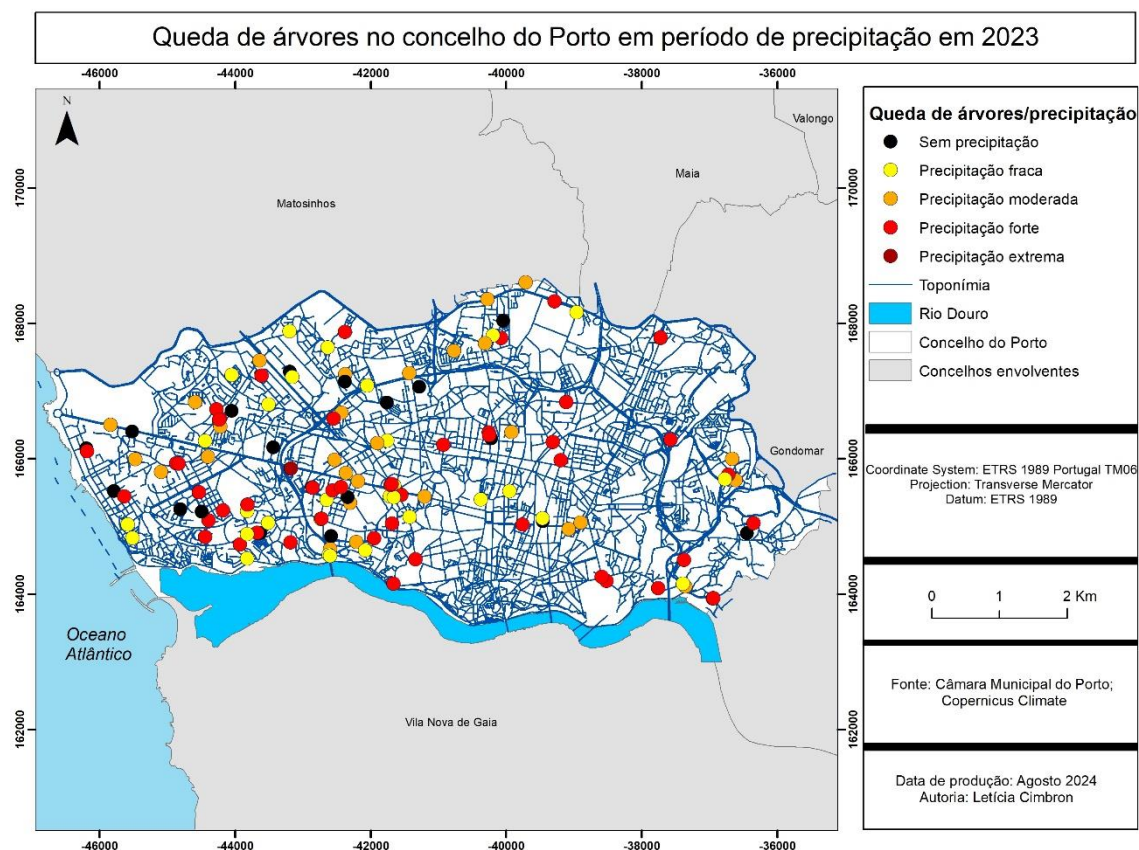


Figura 27. Queda de árvores no Porto em período de precipitação em 2023
Fonte: Câmara Municipal do Porto, Copernicus Climate Change Service (C3S), 2024
Autoria: Leticia Cimbron

O estudo da relação das ocorrências das quedas de árvores com os dados meteorológicos (vento e precipitação) foi efetuado de forma individual para cada variável meteorológica, devido ao elevado número de ocorrências que apresentavam simultaneamente precipitação e vento, no dia da queda, totalizando 351 ocorrências (Tabela nº11).

Tabela 11. Ocorrências de quedas de árvores na presença de precipitação e vento
Fonte: Organizada pela autora a partir dos registos da base de dados elaborada pelo Regimento de Sapadores Bombeiros do Porto e dos dados de Copernicus Climate Change Service (C3S), 2024

Ano	Ocorrências de quedas de árvores com presença de precipitação e vento
2015	5
2016	24
2017	33
2018	55
2019	66
2020	22
2021	32
2022	35
2023	79
Total	351

Para além dos resultados já obtidos, é possível arrematar que as ocorrências sem vínculo aos dados climáticos de precipitação e vento, 193 sem ligação ao vento e 35 sem associação à precipitação, poderão ter ocorrido por outras causas, tais como o estado de saúde das árvores.

Exemplo disso, foi um caso de uma queda de árvore ocorrida no dia 15 de agosto de 2024 em Pedrouços por voltas das 20:00 horas (Figura nº 28). A árvore estava situada num terreno privado, juntamente com outras árvores, que ao cair para a via pública, derrubou os postes de eletricidade, impedindo a saída dos carros dos moradores da rua.



Figura 28. Queda de árvore na via pública no dia 15/8/2024
Fonte: Letícia Cimbron

Para reforçar a teoria, foram obtidos os dados do ECMWF Reanalysis v5 (ERA5) (Copernicus Climate Change Service (C3S), 2024), para a avaliação da precipitação e evento de vento forte no dia da queda (Tabela nº 12). Assim, conclui-se que no dia 15 de agosto de 2024, a precipitação foi nula e não existiu evento de vento forte.

Tabela 12. Dados climáticos para o dia da queda de árvore: 15/8/2024
Fonte: Organizada pela autora a partir dos registos da base de dados elaborada pelo
Regimento de Sapadores Bombeiros do Porto e dos dados de Copernicus Climate Change
Service (C3S), 2024

Ano	Mês	Dia	Hora	Pre(m)	Pre(mm)	u_10m	V_10m	Velocidade do vento
2024	8	15	00:00	0	0	0,1	-4,2	4,20119
2024	8	15	01:00	0	0	0,1	-3,9	3,901282
2024	8	15	02:00	0	0	-0,1	-3,8	3,801316
2024	8	15	03:00	0	0	-0,3	-3,7	3,712142
2024	8	15	04:00	0	0	-0,8	-3,4	3,49285
2024	8	15	05:00	0	0	-1,3	-3	3,269557
2024	8	15	06:00	0	0	-1,5	-2,7	3,088689
2024	8	15	07:00	0	0	-1,6	-2,8	3,224903
2024	8	15	08:00	0	0	-1,5	-2,5	2,915476
2024	8	15	09:00	0	0	-2	-2	2,828427
2024	8	15	10:00	0	0	-1,7	-1,6	2,334524
2024	8	15	11:00	0	0	-0,9	-1,9	2,10238
2024	8	15	12:00	0	0	0,2	-2,3	2,308679
2024	8	15	13:00	0	0	1	-2,9	3,067572
2024	8	15	14:00	0	0	1,9	-3,8	4,248529
2024	8	15	15:00	0	0	2,6	-4,8	5,458938
2024	8	15	16:00	0	0	2,6	-5,5	6,083584
2024	8	15	17:00	0	0	2,6	-5,5	6,083584
2024	8	15	18:00	0	0	2,5	-5,4	5,95063

2024	8	15	19:00	0	0	1,9	-5,3	5,630275
2024	8	15	20:00	0	0	1,1	-4,9	5,021952
2024	8	15	21:00	0	0	0,6	-4,4	4,440721
2024	8	15	22:00	0	0	0,2	-3,7	3,705401
2024	8	15	23:00	0	0	0,1	-3,6	3,601389

7. Propostas de progressão do estudo: sugestões para a minimização de danos em caso de queda de árvores

Algumas propostas de continuação do presente estudo seriam:

- Perceber as causas das quedas de árvores que não estão relacionadas com as condições meteorológicas, vento e precipitação.
- Análise do risco de queda de árvores no concelho do Porto. Para esta análise, seria necessário avaliar as condições que favorecem a ocorrência de queda de árvores, assim como a probabilidade da sua ocorrência. Para além disso, seria preciso classificar o grau de perda face à queda de uma árvore, como por exemplo, os danos causados numa viatura, assim como o valor monetário de reparação dos estragos.
- Elaboração de um Plano Prévio de Intervenção, que consistisse na definição de possíveis cenários de quedas de árvores, para que fosse possível uma melhor gestão dos recursos por parte dos Agentes de Proteção Civil (APC).
- Desenvolvimento de um mecanismo de fecho dos parques públicos, na presença de condições que favoreçam a queda de árvores, para se evitar possíveis danos aos utilizadores desses espaços.

Algumas sugestões para a minimização dos danos em caso de queda de árvores seriam:

- Realização de um inventário das árvores localizadas em propriedades privadas, que estejam a uma certa distância da via pública, podendo causar danos materiais e físicos em caso de queda.
- Aumento das campanhas de sensibilização para a poda das árvores em período de outono e inverno.
- Reforço dos avisos em caso de condições adversas de precipitação e/ou vento forte, especialmente para populares com árvores nas suas habitações.

8. Conclusões

O presente estudo deu continuidade ao trabalho iniciado no estágio curricular em 2023, realizado na Divisão Municipal de Planeamento e Monitorização de Risco, com a colaboração da Divisão Municipal de Estrutura Verde e do Instituto Português do Mar e da Atmosfera. O objetivo inicial do estágio visava à elaboração de uma análise cartográfica das quedas de árvores no Porto, baseando-se nos registos do Regimento de Sapadores Bombeiros do Porto e na relação com os avisos meteorológicos de precipitação e ventos fortes emitidos pelo IPMA. Verificou-se que a generalidade dos avisos meteorológicos reduz a possibilidade de estabelecer uma relação direta entre o aviso e a queda de árvores. Assim, procedeu-se a uma análise mais detalhada, utilizando dados climáticos de precipitação e vento em escalas anuais, mensais, diárias e horárias, para identificar padrões e aumentar a precisão na previsão de eventos que possam provocar quedas de árvores.

Ao estudo inicial foram adicionadas 399 ocorrências, das quais 395 referem-se aos anos de 2015 a 2020, e 4 ao ano de 2023, uma vez que anteriormente se tinham considerado apenas as quedas até meados de novembro de 2023. Assim, este estudo contabilizou um total de 658 quedas de árvores. Importa salientar que a base de dados consultada incluía apenas episódios de quedas de árvores em vias públicas, sugerindo que o número total de ocorrências em todo o concelho pode ser significativamente superior ao que foi possível aceder.

Definiu-se um evento de vento forte quando a velocidade do vento era igual ou superior a 6.5 m/s durante, pelo menos, 3 horas consecutivas, conforme a metodologia de Lopes et al. (2008b). Em caso de interrupções de 3 horas, considerou-se um novo evento. Assim, realizou-se o inventário dos eventos de vento forte existentes por ano, contabilizando um total de 795 eventos, com o ano de 2018 a registar o maior número, num total de 102 eventos, enquanto 2015 apresentou o menor, com 76 eventos.

Por outro lado, a classificação das precipitações acumuladas no dia das quedas foi realizada de acordo com os critérios da World Meteorological Organization (MATZLER, HOCKE, WANG, 2021), categorizando-as como fracas (< 5 mm), moderadas (5-19 mm), fortes (20-49 mm) e extremas (≥ 50 mm).

Com base nos critérios mencionados, para cada ano analisado, verificou-se diariamente se ocorriam quedas de árvores e se existiam registros de eventos de vento forte. Nos casos sem eventos no dia da ocorrência, investigou-se a presença de eventos no dia anterior. Das 658 ocorrências, 401 ocorreram em dias com evento de vento forte e 257 em dias sem evento, mas 64 dessas ocorrências apresentaram evento de vento forte no dia anterior, indicando que apenas 193 não tiveram relação com o vento.

Na análise da precipitação acumulada no dia das quedas, observou-se que, das 658 ocorrências, 115 ocorreram em dias sem precipitação, 261 com precipitação fraca, 141 com precipitação moderada, 111 com precipitação forte e 30 com precipitação extrema. Considerou-se, adicionalmente, três dias de precipitação acumulada – o dia da queda e os dois dias anteriores. Assim, verificou-se que, das 376 ocorrências em dias sem precipitação e dias com precipitação fraca, 341 apresentavam precipitação acumulada nos dias anteriores à ocorrência, evidenciando a importância de considerar não apenas os eventos imediatos, mas também as condições antecedentes que podem aumentar o risco de queda, como a saturação do solo após períodos de chuva prolongados. Apenas 35 ocorrências não mostraram relação direta com períodos de precipitação diária ou acumulada.

O estudo da relação das ocorrências das quedas de árvores com os dados meteorológicos (vento e precipitação) foi efetuado de forma individual para cada variável meteorológica, devido ao elevado número de ocorrências que apresentavam simultaneamente precipitação e vento, no dia da queda, totalizando 351 ocorrências

O estado de saúde das árvores pode ser uma das causas mais prováveis para explicar as quedas que não apresentam relação com condições meteorológicas, como vento e precipitação, sublinhando a necessidade de programas regulares de manutenção e monitorização do arvoredo urbano.

Com o aumento do número de quedas de árvores no Porto, este estudo torna-se relevante, podendo contribuir para a prevenção de futuras ocorrências e para a eficácia da resposta dos Agentes de Proteção Civil.

Para concluir, seria apropriado dar continuidade a este trabalho conforme as sugestões apresentadas no capítulo anterior.

Referências Bibliográficas

Câmara Municipal do Porto. **Plano Municipal da Defesa da Florestas Contra Incêndios: Caderno I - Diagnóstico**. Porto: Câmara Municipal do Porto, 2021. [Consult.6/8/2024]. Disponível em WWW: <https://www.cm-porto.pt/seguranca/protecao-civil_1 >

Câmara Municipal do Porto. **Plano de Arborização da Cidade do Porto: Caracterização e diagnóstico da situação existente**. Porto: Câmara Municipal do Porto, 2021. [Consult.6/8/2024]. Disponível em WWW: <<https://ambiente.cm-porto.pt/ambiente/plano-de-arborizacao> >

Câmara Municipal do Porto. **Clima e Ambiente Urbano: Revisão do Plano Diretor Municipal**. Porto: Câmara Municipal do Porto, 2018. [Consult.6/8/2024]. Disponível em WWW: < https://pdm.cm-porto.pt/documents/47/22_PDMP_ECD_Clima_Amb_Urb.pdf >

Câmara Municipal do Porto. **Ocupação do Solo: Revisão do Plano Diretor Municipal**. Porto: Câmara Municipal do Porto, 2018. [Consult.6/8/2024]. Disponível em WWW: <https://pdm.cm-porto.pt/documents/53/40_PDMP_ECD_Ocup_Solo.pdf >

Câmara Municipal do Porto. **Portal de Informação Geográfica do Porto**. Porto: Câmara Municipal do Porto. [Consult.5/8/2024]. Disponível em WWW: <<https://cm-porto.maps.arcgis.com/apps/dashboards/dcdbff863c8546a8a4026b3de8f4660c> >

Câmara Municipal do Porto. **Freguesias**. Porto: Câmara Municipal do Porto. [Consult.20/8/2024]. Disponível em WWW: <<https://www.cm-porto.pt/municipio/freguesias> >

Comisión Nacional del Agua. **Manual Teórico Práctico del Observador Meteorológico de Superficie**. México: Comisión Nacional del Agua, 2010. [Consult.6/8/2024].

Disponível em WWW:

<<https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2011/CD001679.pdf>>

Florestas. **Os solos em Portugal: conhecer para beneficiar**. Lisboa: Florestas.pt, 2022.

[Consult.10/8/2024]. Disponível em WWW: <<https://florestas.pt/conhecer/os-solos-em-portugal-conhecer-para-beneficiar/>>

GIACHETTI, A., FERRINI, F., & BARTOLI, G. (2021). **A risk analysis procedure for urban trees subjected to wind- or rainstorm**. Urban Forestry & Urban Greening, 58, 126941.

[Consult. 13/8/2024]. Disponível em WWW:

<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126941>

Instituto Português do Mar e da Atmosfera. **Critérios de Emissão dos Avisos Meteorológicos**. Lisboa: Instituto Português do Mar e da Atmosfera.

[Consult.1/7/2024]. Disponível em WWW:

<<https://www.ipma.pt/pt/enciclopedia/otempo/sam/index.html?page=criterios.xml>>

Instituto Português do Mar e da Atmosfera. **Previsão Numérica do Tempo**. Lisboa:

Instituto Português do Mar e da Atmosfera. [Consult.1/8/2024]. Disponível em WWW:

<<https://www.ipma.pt/pt/enciclopedia/otempo/previsao.numerica/index.html~>>

Instituto Superior de Agronomia. **Avaliação do risco de ruptura em arvoredos**. Lisboa:

Universidade de Lisboa. [Consult.5/9/2024]. Disponível em WWW:

<<https://www.isa.ulisboa.pt/lpvva/servicos-a-comunidade/avaliacao-do-risco-de-ruptura-em-arvoredos>>

LOPES, A., OLIVEIRA, S., FRAGOSO, M., ANDRADE, J. A., & PEDRO, P. (2007). ***Wind risk assessment in urban environments: the case of falling trees during windstorm events in Lisbon***. Bioclimatology and Natural Hazards. [Consult. 20/8/2024]. Disponível em WWW: < <https://dspace.uevora.pt/rdpc/handle/10174/8171> >

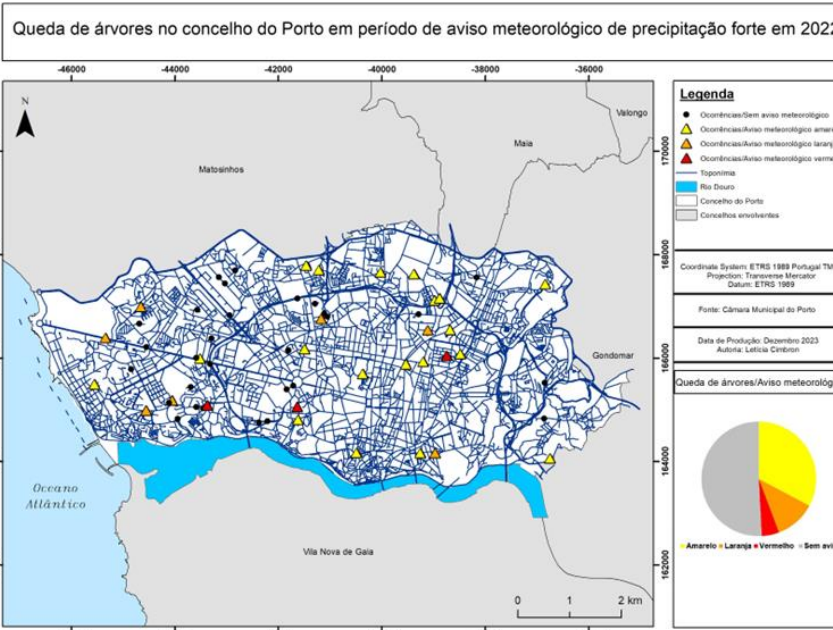
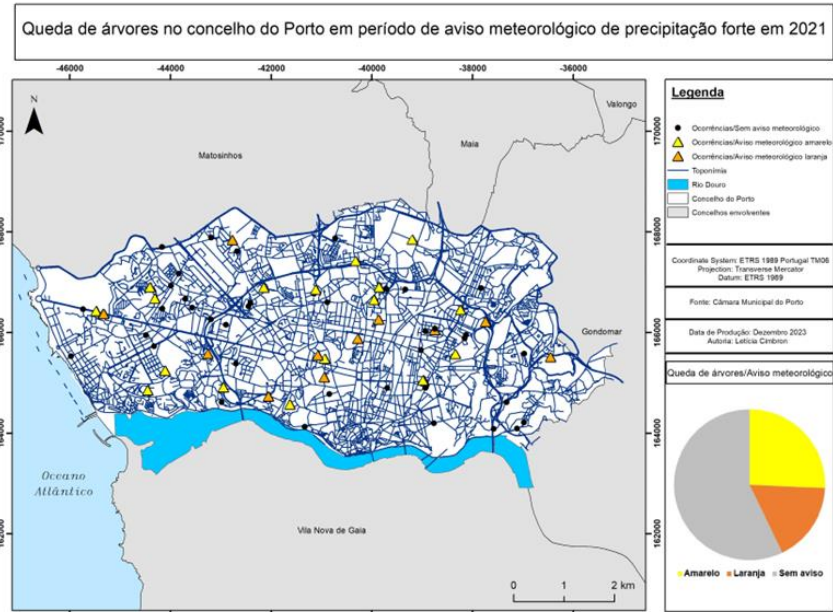
MATZLER, Christian; HOCKE, Klemens ; WANG, Wenye. Physical Retrieval of Rain Rate from Ground-Based Microwave Radiometry. **Remote Sensing**, 2021, v. 13, 2217. [Consult.30/07/2024]. Disponível em WWW: <<https://www.mdpi.com/2072-4292/13/11/2217>>

MUNOZ SABATER , J. (2019): ***Dados horários ERA5-Land de 1950 até o presente***. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS). [Consult.8/7/2024]. Disponível em WWW: <<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-land?tab=overview>>

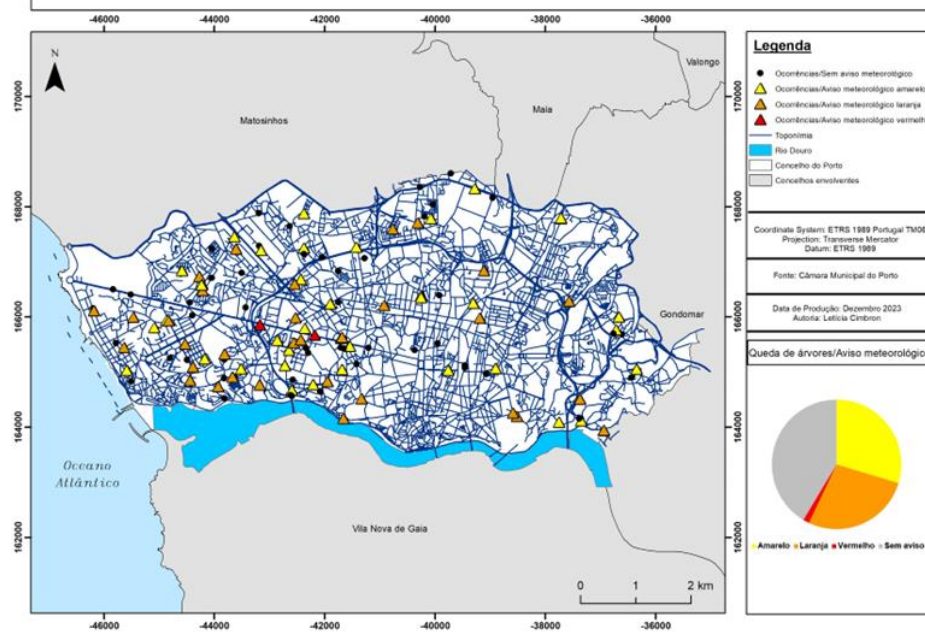
RIBEIRO, Paulo. ***Quedas de árvores motivadas por ventos fortes em Lisboa***. Lisboa: Universidade de Lisboa, 2011. Dissertação de mestrado. [Consult.1/6/2024]. Disponível em WWW: < <https://repositorio.ul.pt/handle/10451/9343> >

WARNER, T. T. (2011). ***Numerical weather and climate prediction***. Cambridge University Press.

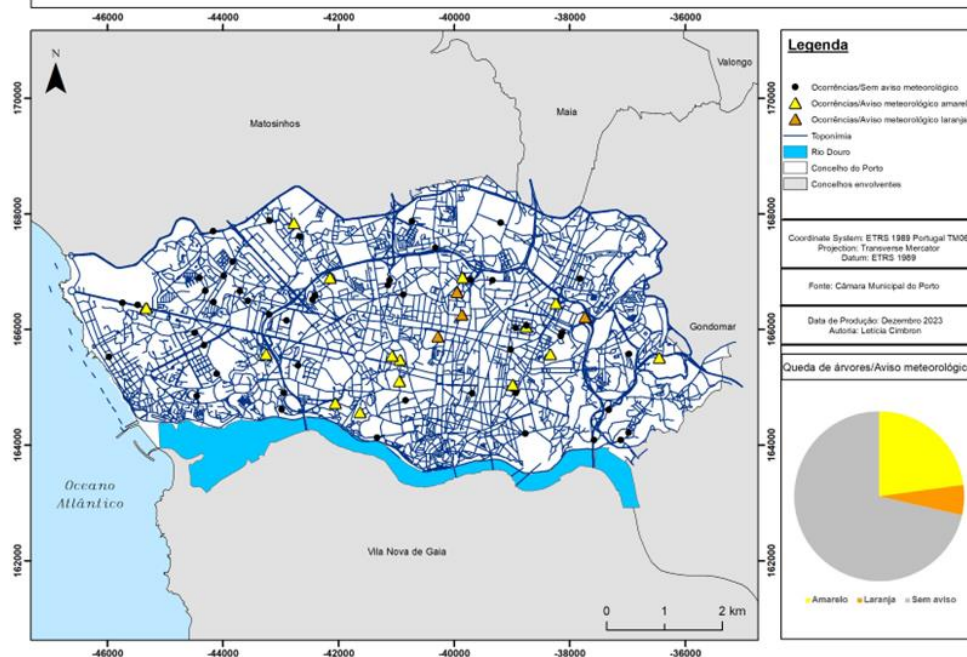
Anexo 1



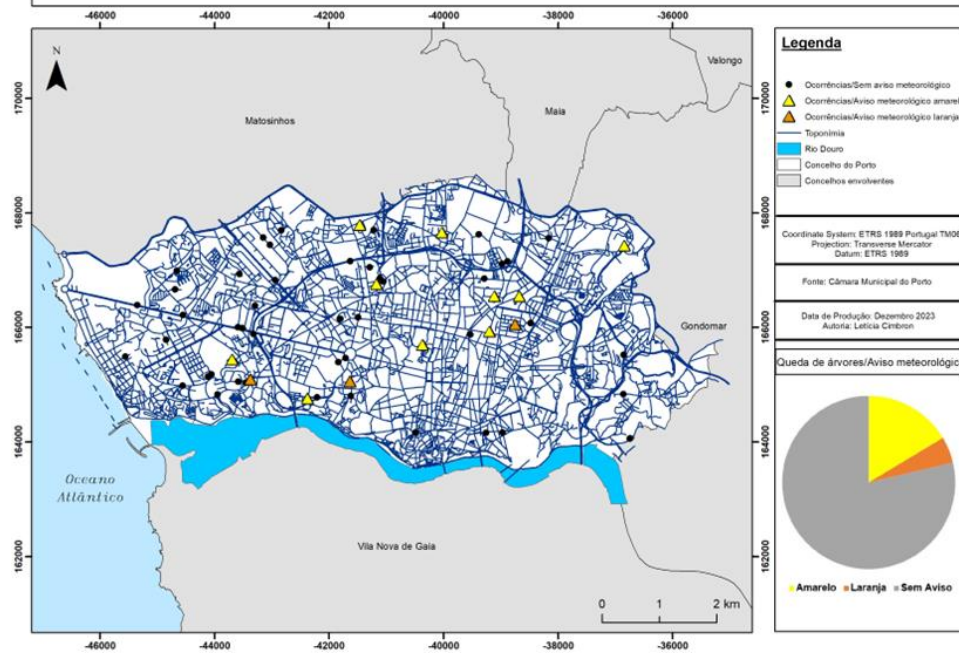
Queda de árvores no concelho do Porto em período de aviso meteorológico de precipitação forte em 2023



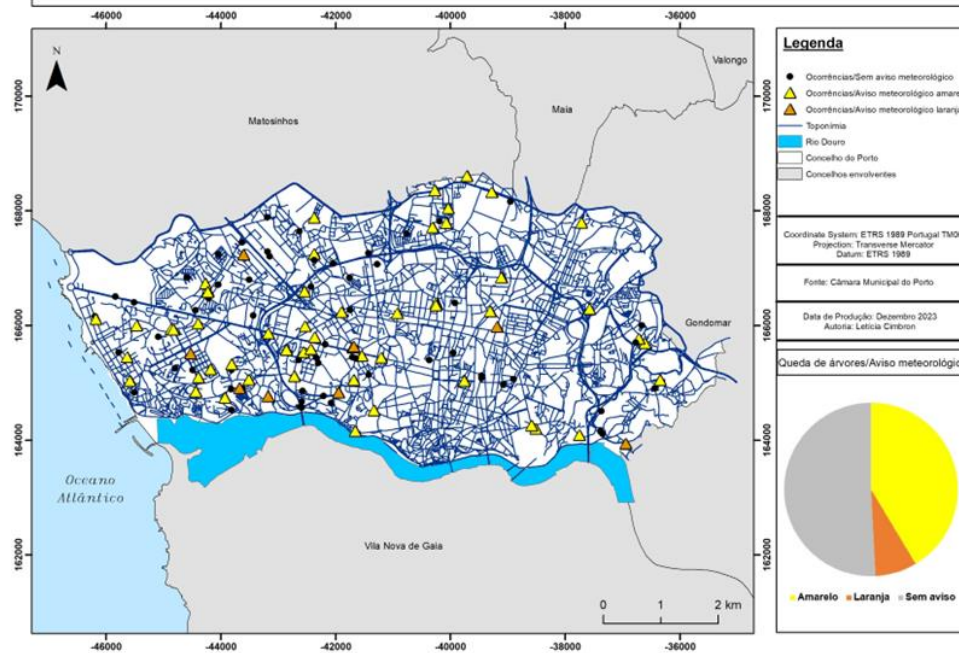
Queda de árvores no concelho do Porto em período de aviso meteorológico de vento forte em 2021



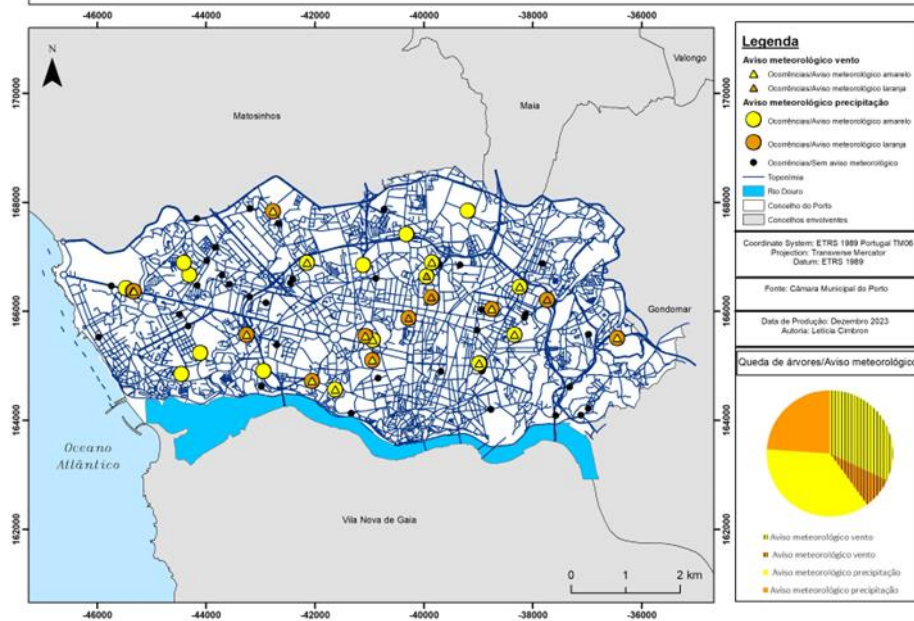
Queda de árvores no concelho do Porto em período de aviso meteorológico de vento forte em 2022



Queda de árvores no concelho do Porto em período de aviso meteorológico de vento forte em 2023



Queda de árvores no concelho do Porto em período de aviso meteorológico de precipitação e vento forte em 2021



Queda de árvores no concelho do Porto em período de aviso meteorológico de precipitação e vento forte em 2022

