

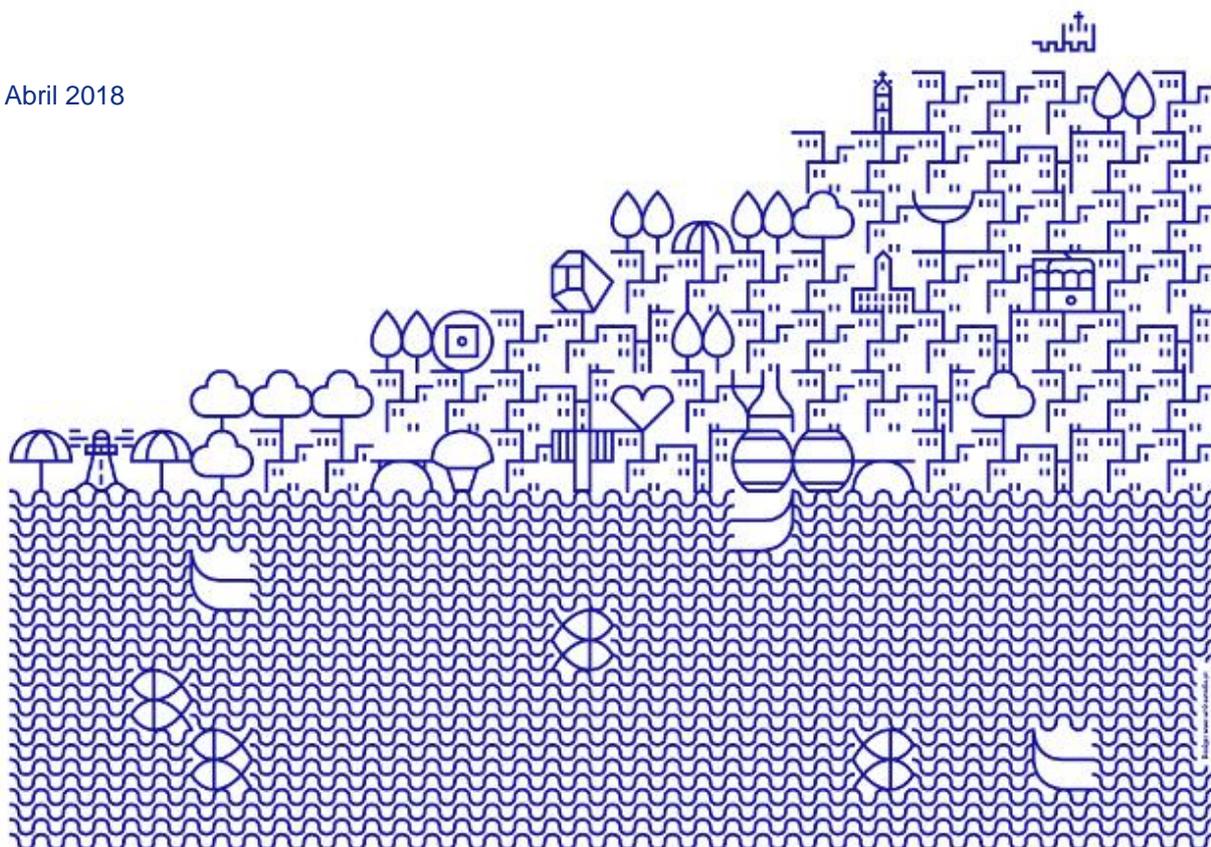


## Suporte Biofísico e Ambiente

### Clima e Ambiente Urbano

Relatório de Caracterização e Diagnóstico

Abril 2018



## Índice

1. Seleção, recolha e integração da informação de base cartográfica e de dados numéricos ilustrativos das formas e funções urbana. ....	7
2. Diagnóstico do contexto ambiental e definição das vulnerabilidades e dos riscos. ....	8
2.1. Caracterização do clima e do ambiente urbano do Porto. ....	8
2.1.1. Ilhas de calor e de frescura, contrastes térmicos, ventos dominantes e corredores de ventilação. ....	8
2.1.2. O contexto climático atual – o passado, o presente e o futuro. ....	9
2.1.3. Conforto bioclimático. ....	20
2.1.4. Ilhas de calor e de frescura (verão e inverno). ....	25
2.1.5. Ventos predominantes e corredores de ventilação (verão e inverno). ....	38
2.2. Ambiente Urbano. ....	41
2.2.1. Qualidade do ar. ....	41
2.2.2. Qualidade da água. ....	53
2.2.3. Qualidade do solo. ....	63
2.2.4. Ruído. ....	69
3. Vulnerabilidades e Riscos. ....	72
3.1. População e saúde. ....	72
3.2. <i>Hotspots</i> termo-anemométricos, e de degradação da qualidade do ar, da água, do solo e do ruído. ....	84
3.2.1. <i>Hotspots</i> climáticos de verão e inverno. ....	84
3.2.2. Síntese das áreas de degradação da qualidade do ar e da privação ambiental e sócio económica . ....	87
3.2.3. Síntese das áreas de degradação da qualidade da água e da privação ambiental e sócio económica. ....	88
3.2.4. Síntese das áreas de degradação da qualidade do solo e da privação ambiental e sócio económica. ....	89
3.2.5. Síntese das áreas de ruído acima do admissível e da privação ambiental e sócio económica . ....	90
4. Clima e Ambiente Urbano - Síntese das debilidades e fragilidades diagnosticadas. ....	91
5. Indicadores de monitorização. ....	93
6. Bibliografia. ....	96
7. Anexos. ....	102
ANEXO I – Informação de base. ....	103

## Índice Figuras

Figura 1 - Enquadramento dos limites da área de estudo.	8
Figura 2 - Enquadramento climático da Área Metropolitana do Porto.	9
Figura 3 - Medições itinerantes no concelho do Porto.	26
Figura 4 - Anomalias térmicas muito prováveis.	26
Figura 5 - Anomalias térmicas muito prováveis (Verão).	27
Figura 6 - Anomalias térmicas muito prováveis (Inverno).	28
Figura 7 - Carta térmica do dia 5 de fevereiro de 2016.	30
Figura 8 - Carta térmica do dia 24 de março de 2016.	30
Figura 9 - Carta térmica do dia 25 de abril de 2016.	30
Figura 10 - Carta térmica do dia 19 de junho de 2016.	31
Figura 11 - Carta térmica do dia 28 de junho de 2016.	32
Figura 12 - Carta térmica do dia 14 de julho de 2016.	32
Figura 13 - Carta térmica do dia 06 de agosto de 2016.	33
Figura 14 - Carta térmica do dia 15 de agosto de 2016.	33
Figura 15 - Carta térmica do dia 16 de setembro de 2016.	34
Figura 16 - Carta térmica do dia 02 de outubro de 2016.	34
Figura 17 - Carta térmica do dia 05 de dezembro de 2016.	35
Figura 18 - Carta térmica do dia 06 de janeiro de 2017.	35
Figura 19 – Probabilidade de ocorrência de calor extremo no Verão.	36
Figura 20 - Probabilidade de ocorrência de frio extremo no Inverno.	37
Figura 21 - Direção dos ventos predominantes em cada mês do ano, Porto Pedras Rubras.	38
Figura 22 - Corredores de ventilação na época quente do ano (março a agosto).	40
Figura 23 - Corredores de ventilação na época fria do ano (setembro a fevereiro).	40
Figura 24 - Probabilidade de ocorrência de aceleração dos fluxos de ar.	41
Figura 25 - Estações de monitorização da qualidade do ar na cidade do Porto.	44
Figura 26 - Vista aérea da estação FSC Campanhã (localização da estação, via <i>Google Earth</i> , a altitudes de visualização diversas).	45
Figura 27 - Vista aérea da estação SL Ouro (localização da estação, via <i>Google Earth</i> , a altitudes de visualização diversas).	46
Figura 28 - Vista aérea da estação MA Cedofeita (localização da estação, via <i>Google Earth</i> , a altitudes de visualização diversas).	47
Figura 29 - Vista aérea da estação Rua dos Bragas (localização da estação, via <i>Google Earth</i> , a altitudes de visualização diversas).	48
Figura 30 – Probabilidade de degradação da qualidade do ar.	53
Figura 31 - Nascentes, rios e ribeiras.	55
Figura 32 - Unidades Hidrogeológicas.	55
Figura 33 - Coeficiente de escoamento.	57
Figura 34 - Fontes e bebedouros.	57
Figura 35 - Classificação da qualidade da água - Carência Química de Oxigénio (CQO), 2011.	59
Figura 36 - Classificação da qualidade da água - Carência Química de Oxigénio (CQO), 2014.	59
Figura 37 - Classificação da qualidade da água - Coliformes Fecais (E.Coli), 2011.	60
Figura 38 - Classificação da qualidade da água - Coliformes Fecais (E.Coli), 2014.	61
Figura 39 - Traçado de cursos de água, fontes de contaminação.	62
Figura 40 – Probabilidade de contaminação das águas.	63

Figura 41 - Carta de ocupação do solo de 2007.	64
Figura 42 - Carta de qualificação do uso do solo.	64
Figura 43 – Dispersão espacial do Arsénio (As).	65
Figura 44 – Dispersão espacial do Chumbo (Pb).	66
Figura 45 – Dispersão espacial do Zinco (Zn).	66
Figura 46 – Dispersão espacial do Cobre (Cu).	67
Figura 47 – Dispersão espacial do Molibdênio (Mo).	67
Figura 48 - Probabilidade de contaminação dos solos por metais pesados.	68
Figura 49 - Zonas sensíveis e zonas mistas.	70
Figura 50 – Probabilidade de ruído acima do admissível.	71
Figura 51 - Vulnerabilidade da morbilidade por doenças respiratórias durante episódios de frio intenso	72
Figura 52 - Vulnerabilidade da morbilidade por AVC, Dispneia & Asma e Dor Torácica.	73
Figura 53 - Vulnerabilidade da morbilidade por enfarte agudo do miocárdio.	73
Figura 54 - Variação da População entre 2001 e 2011.	74
Figura 55 - Densidade populacional, INE, Censos de 2011.	75
Figura 56 - População por género, à subsecção.	75
Figura 57 - População residente dos 0 aos 14 anos de idade.	76
Figura 58 - População residente dos 15 aos 64 anos de idade.	76
Figura 59 - População residente com mais de 64 anos de idade.	77
Figura 60 - População idosa isolada.	77
Figura 61 - Mortalidade de 2002 a 2007.	78
Figura 62 - Localização dos hospitais de referência.	79
Figura 63 - Internamentos nos quatro hospitais de referência de 2000 a 2007.	79
Figura 64 - Total de internamentos por causa - Doenças do aparelho respiratório (GDC4) de 2000 a 2007.	80
Figura 65 - Total de internamentos por causa – Doenças do aparelho circulatório (GDC5) de 2000 a 2007.	80
Figura 66 - Total de internamentos por causa - Bronquite e asma de 2000 a 2007.	81
Figura 67 - Total de internamentos por causa – DPCO de 2000 a 2007.	81
Figura 68 - Total de internamentos por causa – Enfarte agudo do miocárdio de 2000 a 2007.	82
Figura 69 - Total de internamentos por causa – Diabetes de 2000 a 2007.	82
Figura 70 - Índice de privação socioeconómica e ambiental para a saúde.	83
Figura 71 – <i>Hotspots</i> termo-anemométricos na época mais quente do ano.	85
Figura 72 – <i>Hotspots</i> termo-anemométricos na época mais fria do ano.	85
Figura 73 – <i>Hotspots</i> termo-anemométrico na época mais quente do ano e áreas de maior privação sócio-económica e ambiental.	86
Figura 74 – <i>Hotspots</i> termo-anemométrico na época mais fria do ano e áreas de maior privação sócio-económica e ambiental.	86
Figura 75 – <i>Hotspots</i> de degradação da qualidade do ar e de privação sócio-económica e ambiental.	87
Figura 76 – <i>Hotspots</i> de contaminação da água e de privação sócio-económica e ambiental.	88
Figura 77 – <i>Hotspots</i> de contaminação do solo e de privação sócio-económica e ambiental.	89
Figura 78 – <i>Hotspots</i> ruído e de privação sócio-económica e ambiental.	90



---

## Índice Figuras Informação de Base

Figura IB 1 - Modelo digital de superfície.....	103
Figura IB 2 - Cursos de água.....	103
Figura IB 3 - Declives.....	104
Figura IB 4 - Exposição das vertentes.....	104
Figura IB 5 - Estrutura verde.....	105
Figura IB 6 - Arvoredo e áreas verdes.....	105
Figura IB 7 - Mapa da rede de acessibilidades.....	106
Figura IB 8 - Área edificada e área verde.....	106
Figura IB 9 - Área impermeabilizada por subsecção estatística.....	107

## Índice Gráficos

Gráfico 1 – Temperatura média, mínima e máxima anual no Porto Serra do Pilar entre 1901 e 2007 e respetivas linhas de tendência.	11
Gráfico 2 - Temperatura média, mínima e máxima anual no Porto Serra do Pilar entre 1901 e 2007.	12
Gráfico 3 – Número de dias anuais com temperaturas máximas iguais ou superiores a 31°C e 34°C.	15
Gráfico 4 - Nº de dias anuais com temperaturas mínimas iguais ou inferiores a 1°C e -1°C.	17
Gráfico 5 - Tendência secular de eventos climáticos extremos de calor (Díaz).	19
Gráfico 6 - Tendência secular de eventos climáticos extremos de frio (Díaz).	20
Gráfico 7 - Conforto bioclimático no Porto estimado a partir da PET no Porto (2002-2007).	21
Gráfico 8 - PET por mês no Porto (2002-2007).	22
Gráfico 9 – Concentração de partículas <10 µm no Porto (2000 – 2014).	49
Gráfico 10 - Concentração de dióxido de azoto no Porto (2000 – 2014).	50
Gráfico 11 - Concentração de monóxido de carbono no Porto (2000 – 2014).	50

## Índice Quadros

Quadro 1 - Tendência secular e anual da temperatura (Porto - Serra do Pilar, 1901-2007).	12
Quadro 2 - Valores temperatura excepcionais por mês e ano de ocorrência.	13
Quadro 3 - Tendência anual e secular da temperatura média, máxima e mínima por mês e estação.	14
Quadro 4 - Número de sequências de dias, por década, com temperatura máxima.	15
Quadro 5 - Número de sequências de dias, por década, com temperatura máxima $\geq 31^{\circ}\text{C}$ .	16
Quadro 6 - Número de sequências de dias, por década, com temperatura máxima $\geq 34^{\circ}\text{C}$ .	16
Quadro 7 - Número de sequências de dias, por década, com temperatura mínima.	17
Quadro 8 - Número de sequências de dias, por década, com temperatura mínima $\leq 1^{\circ}\text{C}$ (P3).	18
Quadro 9 - Número de sequências de dias, por década, com temperatura mínima $\leq -1^{\circ}\text{C}$ (P1).	18
Quadro 10 - Número de eventos extremos de calor por década, por índice.	19
Quadro 11 - Número de eventos extremos de frio por década, por índice.	19
Quadro 12- Número e percentagem de dias - PET no Porto (Homens-Agosto de 2016).	23
Quadro 13 - Número e percentagem de dias - PET no Porto (Mulheres-Agosto de 2016).	23
Quadro 14 - Número e percentagem de dias - PET no Porto (Homens-Dezembro de 2016).	24
Quadro 15 - Número e percentagem de dias - PET no Porto (Mulheres-Dezembro de 2016).	24
Quadro 16 – Critérios de classificação dos fatores de controlo da aceleração dos fluxos de ar.	39
Quadro 17 - Características físico-químicas e Fontes de alguns poluentes	42
Quadro 18 - Efeitos potenciais de alguns poluentes na saúde humana.	43
Quadro 19 - Características das quatro estações de qualidade do ar da cidade do Porto.	44
Quadro 20 - Poluentes monitorizados nas quatro estações de qualidade do ar da cidade do Porto.	45
Quadro 21 - Registos de qualidade do ar disponíveis no Porto em 2015.	49
Quadro 22 - Emissões poluentes no concelho do Porto (2009).	51
Quadro 23 – Caraterísticas dos cursos de água no Porto.	56
Quadro 24 – Forças e Fraquezas no domínio do Clima e Ambiente Urbano.	92

## **1. Seleção, recolha e integração da informação de base cartográfica e de dados numéricos ilustrativos das formas e funções urbana.**

A caracterização do clima e do ambiente urbano do Porto foi elaborada a partir da construção de um projeto em Sistema de Informação Geográfica (SIG), utilizando o *software ArcGIS 10.4 for Desktop*.

Neste projeto foi incluída toda a informação considerada imprescindível para a análise de todas as componentes do ambiente urbano, nomeadamente a que foi disponibilizada pela CMP, a que está disponível em fontes com acesso público e outra criada pela equipa do projeto. A fim de facilitar a compreensão do texto que se segue, decidimos reunir esta base de dados espacializada no anexo designado *Anexo I - Informação de Base* e a numeração dos mapas precedida das palavras IB.

A informação de base cartográfica para o Porto considerada relevante para o objetivo desta análise e que consta do anexo I é: hipsometria, tendo por base o modelo digital de superfície (MDS)<sup>1</sup>, cursos de água, declives, exposição das vertentes, estrutura verde, arvoredo e áreas verdes, rede de acessibilidades, área edificada e área verde, área impermeabilizada por subsecção.

---

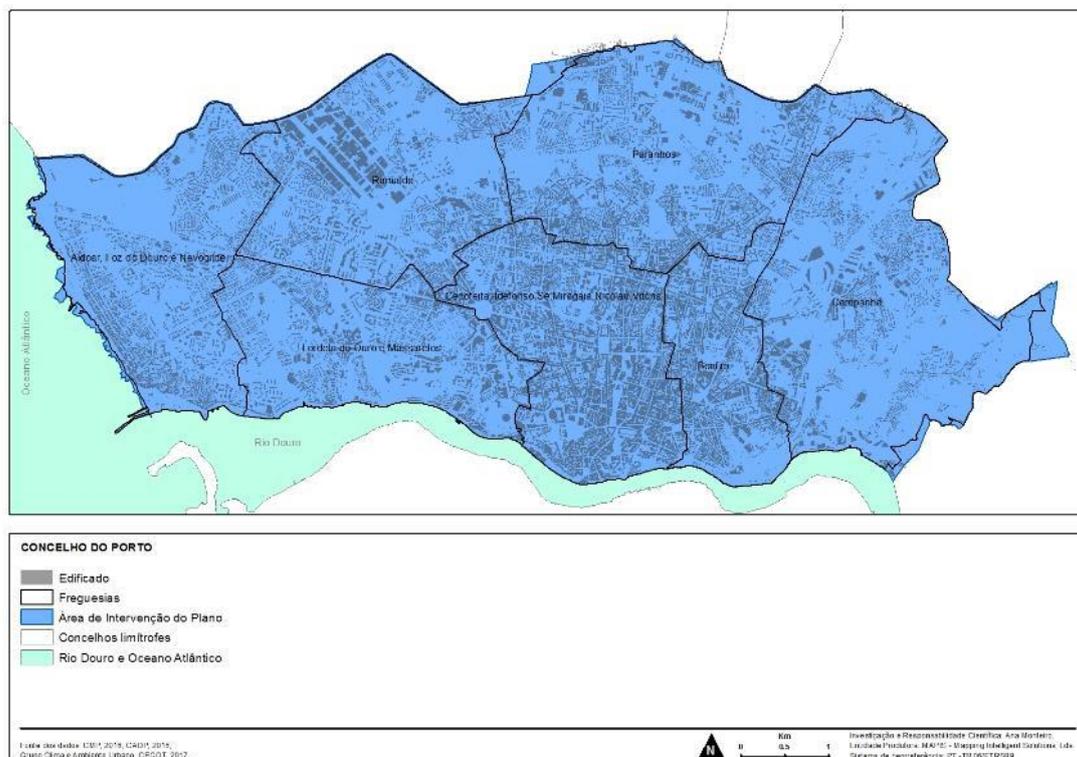
<sup>1</sup> Criou-se o modelo digital de superfície e não o modelo digital de terreno, porque os pontos cotados, fornecidos pela CMP, incluem os valores altimétricos de todos os objetos existentes no terreno.

## 2. Diagnóstico do contexto ambiental e definição das vulnerabilidades e dos riscos.

### 2.1. Caracterização do clima e do ambiente urbano do Porto.

O clima e o ambiente urbano portuense (Figura 1) beneficiam de um longo, contínuo e perseverante interesse dos investigadores sobre este espaço geográfico, o que facilitou a coleção e a análise crítica de inúmeras evidências científicas do que a artificialização do espaço foi progressivamente provocando no ar (clima, poluição do ar e ruído), no solo e na água.

Figura 1 - Enquadramento dos limites da área de estudo.



Fonte: CMP, 2016; CAOP, 2016; Grupo Clima e Ambiente Urbano, CEGOT, 2017.

#### 2.1.1. Ilhas de calor e de frescura, contrastes térmicos, ventos dominantes e corredores de ventilação.

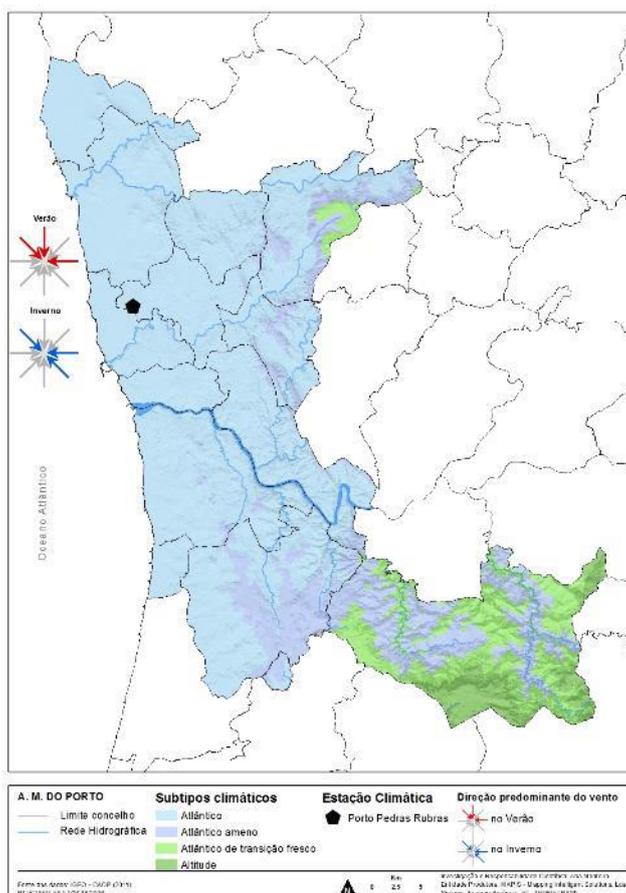
O conhecimento do contexto climático do Porto está ancorado na existência de uma série rara de registos com mais de 100 anos (Porto - Serra do Pilar)<sup>2</sup> e nos resultados dos inúmeros projetos individuais e coletivos, nacionais e internacionais, que se desenvolveram nas últimas 4 décadas.

<sup>2</sup> A informação climatológica analisada entre 1900 e 2007 é a dos registos de Porto - Serra do Pilar mas como esta estação foi inativada em 2007, sempre que necessitarmos de recorrer a registos mais atuais (2007 e 2016), os dados serão os de Porto - Pedras Rubras, uma estação cujo sítio e posição geográfica traduz menos bem a realidade climática da área de estudo.

### 2.1.2.O contexto climático atual – o passado, o presente e o futuro.

A área em estudo inscreve-se no NW da Península Ibérica, na faixa costeira atlântica, sofrendo a influência da corrente zonal de oeste que, depois de atravessar as Montanhas Rochosas tem um longo trajeto marítimo, e tem aqui o seu primeiro contacto com uma área continental. As características deste fluxo de ar, à chegada ao litoral português, dependem do posicionamento e dos atributos momentâneos de um importante aparelho barométrico – o Anticiclone dos Açores – que ora lhe facilita, ora lhe dificulta a aproximação com as características que foi adquirindo no seu longo trajeto oceânico. Para além destes dois atores, a contiguidade a duas massas continentais compactas – a Península Ibérica e o Norte de África – promotoras da formação frequente de aparelhos barométricos de origem térmica diversos na estação quente e na estação fria, fazem com que o Porto, apesar de pertencer ao subtipo climático Atlântico (Daveau et. al., 1988) assista frequentemente, consoante a situação sinóptica presente, a condições de conforto termo-higro-anemométrico bastante distintas (Figura 2).

**Figura 2 - Enquadramento climático da Área Metropolitana do Porto.**



Nos últimos 40 anos (1978-2016), verificámos que:

- i) os dias de verão com temperatura máxima acima 25°C foram frequentes em junho, julho e setembro (25% dos dias) e muito frequentes em agosto (45% dos dias);
- ii) os dias com temperatura mínima acima de 20°C foram raros e ocorreram apenas entre maio e setembro sendo mais frequentes no mês de agosto (3% dos dias);
- iii) os dias com temperatura mínima entre 2°C e 7°C (geada provável) são frequentes em entre novembro e abril (25% dos dias) e muito frequentes em janeiro e fevereiro (50% dos dias);
- iv) a época mais chuvosa do ano ocorreu frequentemente entre outubro a dezembro;
- vi) o vento predominante no inverno é dos quadrantes NW, E e SE e no Verão de N, NW e E.

Assim, apesar de não existir um conjunto de estações climatológicas suficiente para compreender todas as *nuanças* climáticas na área de estudo, os dados disponíveis permitem confirmar um ritmo estacional caracterizado por um inverno moderadamente fresco nas áreas mais próximas do mar e frio ou muito frio nas áreas mais abrigadas do interior e nas altitudes mais elevadas, e um verão moderadamente quente frequentemente influenciado pelos ventos de NW e pelos nevoeiros de advecção matinais junto ao litoral, e, quente ou muito quente nas áreas afastadas da ação moderadora do atlântico ou de maior altitude (Figura 2).

A precipitação ocorreu em qualquer mês do ano embora seja mais frequente e mais intensa na estação mais fria do ano.

A humidade relativa é na maioria dos dias muito elevada (> 70%) e são frequentes os nevoeiros de advecção junto ao litoral e os de radiação nas áreas morfologicamente mais movimentadas quer pela tectónica, quer pelos cursos de água localizadas no interior.

Em geral nesta área os ventos predominantes no verão são de NW, N e E enquanto no Inverno são de E, SE e NW (Figura 2).

A velocidade média do vento ronda os 20-25 km/h (5,5m/s - 6,9 m/s) e é muito frequente a presença tanto das brisas terra-mar como a brisa vale-topo da montanha.

Todavia, a intensa artificialização do território, com alterações profundas na micro-morfologia (rede viária, edificado, espaços verdes, etc.) e na fisiologia interna da cidade, introduzem modificações substantivas na temperatura, na direção e no rumo dos ventos como adiante se verá.

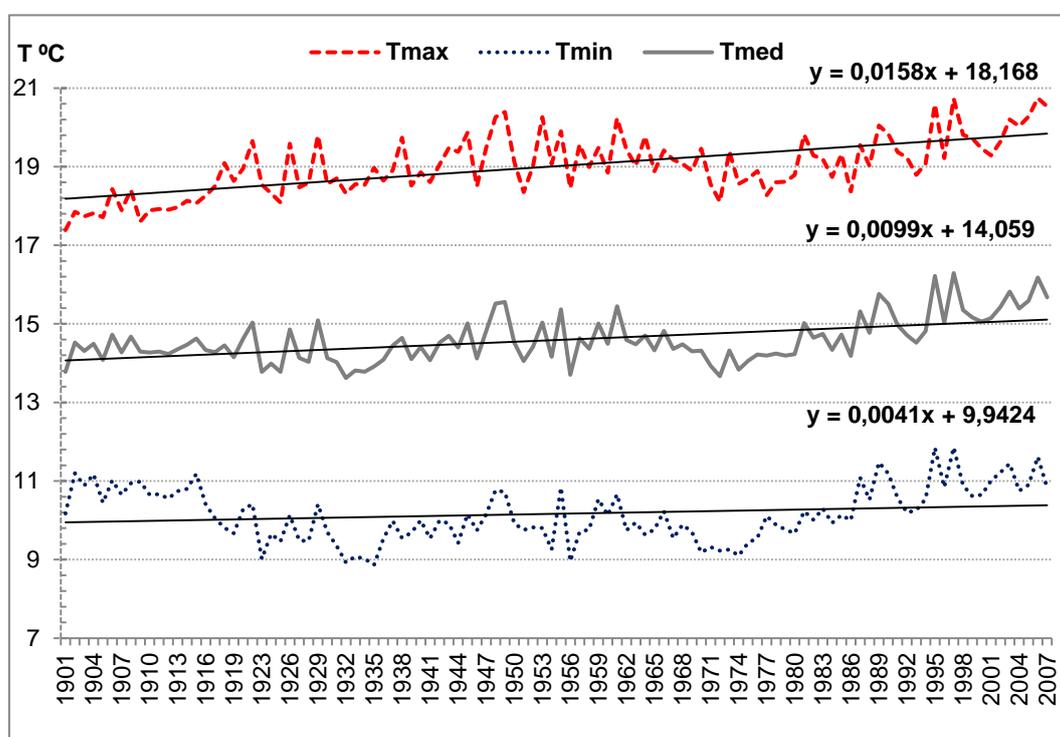
A leitura crítica dos registos climatológicos do passado e a monitorização do presente, permitem-nos estimar grosso modo o perfil de comportamento do sistema climático portuense nas próximas décadas (Gráficos 1 e 2 e Quadros 1 e 2).

A temperatura nos últimos 108 anos evidencia, em média anual, uma tendência de aumento que acompanha as estimativas para esta latitude enunciadas pelos vários Modelos de Projeção Climáticos Globais (Gráfico 1 e 2). Note-se, no entanto, que no caso das temperaturas mínimas, tão referidas na literatura internacional como o indicador mais relevante, aqui, no

Porto, este não parece ser o mais ilustrativo para sustentar o argumentário utilizado, já que ressalta com muito maior evidência a ciclicidade da anormalidade dos valores mais recentes (Gráfico 1 e 2 e Quadro 1 e 2). O mesmo, como se vê, não acontece nas temperaturas máximas ou nas médias onde é evidente o aparecimento de alguns picos mais elevados depois da década de 80 do século passado.

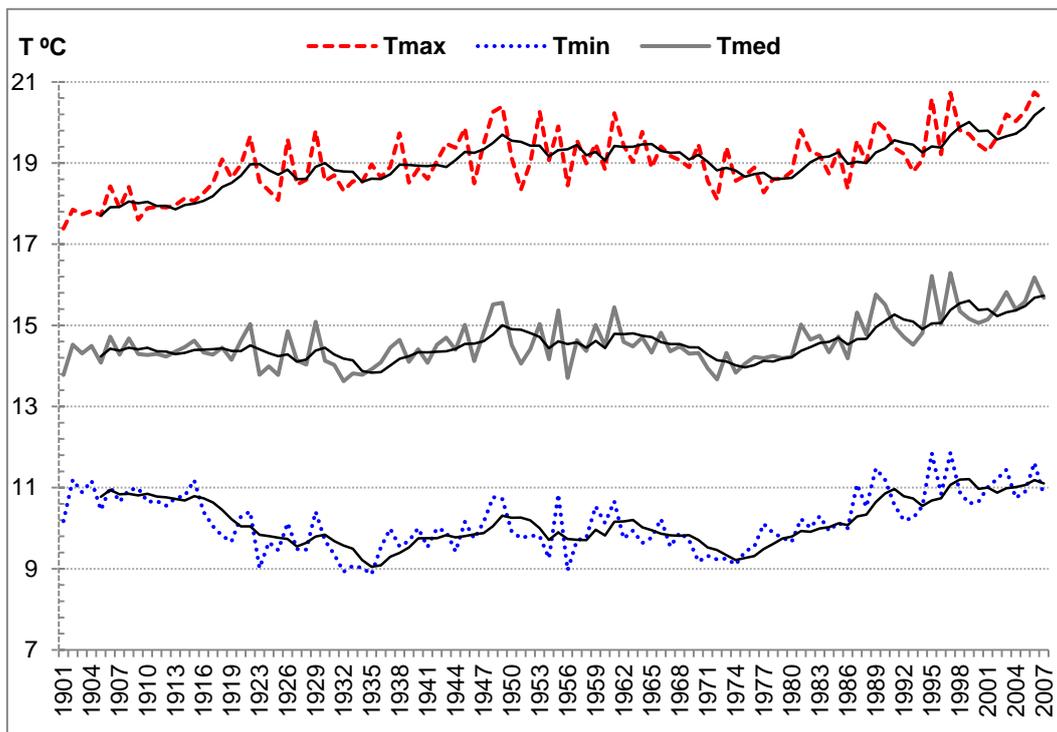
Ao analisar os casos com temperatura excepcionalmente baixa ou elevada por mês do ano ao longo do último século verifica-se que enquanto as máximas mais elevadas ocorreram maioritariamente depois dos anos 80, as mínimas mais baixas aconteceram entre a década de 30 e 70 do século passado (Quadro 2).

**Gráfico 1 – Temperatura média, mínima e máxima anual no Porto Serra do Pilar entre 1901 e 2007 e respectivas linhas de tendência.**



Fonte: Monteiro, et al. 2012c (adaptado).

Gráfico 2 - Temperatura média, mínima e máxima anual no Porto Serra do Pilar entre 1901 e 2007.



Fonte: Monteiro, et al. 2012c (adaptado).

Quadro 1 - Tendência secular e anual da temperatura (Porto - Serra do Pilar, 1901-2007).

	Tmax	Tmin	Tmed
1901-1910	17.9	<b>10.8</b>	14.3
1911-1920	18.3	10.4	14.4
1921-1930	18.8	9.7	14.3
1931-1940	18.8	9.4	14.1
1941-1950	19.4	10.0	14.7
1951-1960	19.2	9.9	14.5
1961-1970	19.3	9.8	14.6
1971-1980	18.6	9.5	14.1
1981-1990	19.3	10.5	14.9
1991-2000	<b>19.6</b>	<b>10.8</b>	<b>15.2</b>
2001-2007	<b>20.1</b>	<b>11.1</b>	<b>15.6</b>

Fonte: Monteiro, et al. 2012c (adaptado).

**Quadro 2 - Valores temperatura excepcionais por mês e ano de ocorrência.**

Mês	Tmed max mais elevada (°C)	Ano de ocorrência	Tmed min mais baixa (°C)	Ano de ocorrência
janeiro	15.1	1982	1.6	1954
fevereiro	18.4	1998	1.0	1956
março	23.3	1997	3.9	1970
abril	22.1	1997	5.7	1932
maio	23.7	1922	8.6	1972
junho	26.0	1981	10.6	1972
julho	28.1	1990	12.6	1965
agosto	29.3	2006	13.0	1963 e 1978
setembro	28.3	1926	10.7	1952
outubro	23.8	1962	7.1	1974
novembro	21.4	1902	3.7	1934
dezembro	16.9	1953	1.5	1933
<b>Anual</b>	<b>20.7</b>	<b>1997 e 2006</b>	<b>8.9</b>	<b>1932 e 1935</b>

Fonte: Monteiro, et al. 2012c (adaptado).

Contudo, esta análise das temperaturas anuais e das temperaturas máximas e mínimas excepcionais mascara, como seria de esperar, a realidade efetivamente vivenciada. Uma análise mais pormenorizada de cada uma das séries mensais seculares mostra que de facto a imagem refletida nos diagramas anteriores resulta de modificações substantivas do comportamento da temperatura nestes últimos 108 anos em cada uma das estações do ano e em cada um dos meses do ano (Quadro 3).

O incremento anual médio mais elevado da temperatura média máxima tem ocorrido na primavera (0,019°C/ano) enquanto na temperatura média mínima tem sido no inverno e no outono (0,007°C/ano). O mês de março tem sido o que, em média, teve os maiores incrementos anuais (tanto na temperatura média como na temperatura média máxima (0,016°C/ano; 0,028°C/ano). O mês de outubro tem sido aquele que tem evidenciado aumentos médios anuais da temperatura média mínima mais elevados (0,012°C).

**Quadro 3 - Tendência anual e secular da temperatura média, máxima e mínima por mês e estação.**

	Tmed		Tmed max		T med min	
	Tend. anual (°C)	Tend.séc. (°C)	Tend. anual (°C)	Tend.séc. (°C)	Tend. anual (°C)	Tend.séc. (°C)
Ano	0.009	0.95	0.015	1.59	0.004	0.42
inverno	0.010	1.06	0.014	1.48	<b>0.007</b>	<b>0.74</b>
outono	0.010	1.06	0.014	1.48	<b>0.007</b>	<b>0.74</b>
primavera	0.009	0.95	<b>0.019</b>	<b>2.01</b>	0.00	0.00
verão	<b>0.011</b>	<b>1.17</b>	0.018	1.91	0.004	0.42
janeiro	0.009	0.95	0.011	1.17	0.006	0.64
fevereiro	0.013	1.38	0.017	1.80	0.008	0.85
março	<b>0.016</b>	<b>1.70</b>	<b>0.028</b>	<b>2.97</b>	0.005	0.53
abril	0.006	0.64	0.015	1.59	0.002	0.21
maio	0.006	0.64	0.014	1.48	0.002	0.21
junho	0.011	1.17	0.020	2.12	0.003	0.35
julho	0.011	1.17	0.018	1.91	0.003	0.32
agosto	0.011	1.17	0.016	1.70	0.005	0.53
setembro	0.008	0.85	0.013	1.38	0.003	0.32
outubro	<b>0.014</b>	1.48	0.015	1.59	<b>0.012</b>	<b>1.27</b>
novembro	0.009	0.95	0.013	1.38	0.007	0.74
dezembro	0.010	1.06	0.013	1.38	0.005	0.53

Fonte: Monteiro, et al. 2012c (adaptado).

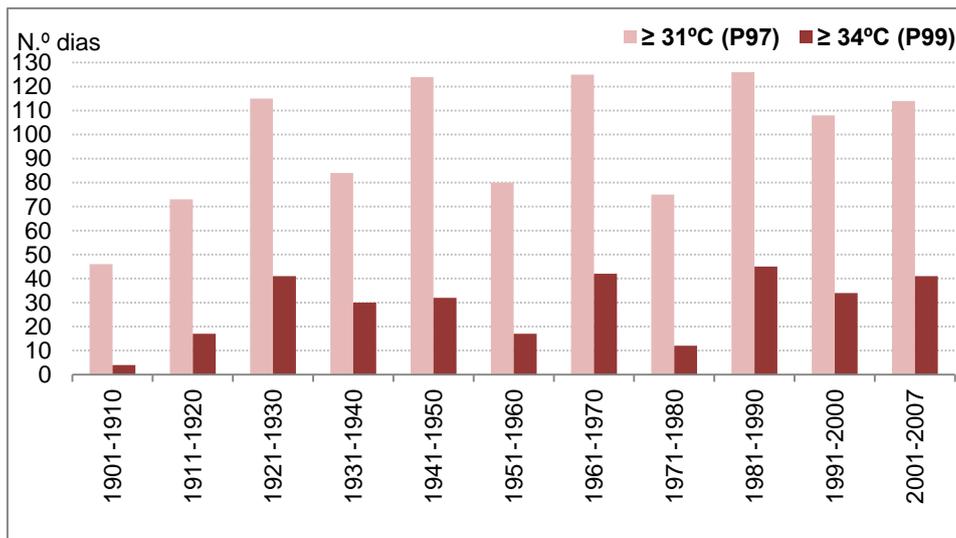
A observação secular dos episódios excepcionais de temperatura máxima (Gráfico 3 e Quadros 4 a 6) e de temperatura mínima (Gráfico 4 e Quadros 7 a 9), estabelecidos a partir dos percentis 97 e 99 para as máximas muito elevadas e dos percentis 1 e 3 para as mínimas muito baixas, evidenciam que:

- i) a década de 1981-1990 foi a que registou o maior número de dias (380) com temperaturas máximas excepcionais;
- ii) as décadas de 1981-2007 foram as que registaram o maior número de dias com temperaturas máximas acima de 31°C;
- iii) os episódios extremos de calor de maior duração, igual ou superior a 8 dias, aconteceram sobretudo a partir de 1981;
- iv) os eventos de maior intensidade de calor e com maior de duração aconteceram, também, após 1981;
- v) o maior número de dias (443) com temperaturas mínimas extremas baixas foi observado no início do século XX (1931-1940). Esta foi também a década que teve sequências mais longas de dias com temperatura mínima <1°C;

vi) nas décadas 1991-2007 houve um decréscimo significativo do número de dias com temperaturas mínimas  $\leq 1^\circ\text{C}$  (P3) e  $\leq -1^\circ\text{C}$  (P1);

viii) desde a década de 50 não foram registados casos de temperatura mínima menor ou igual a  $-4^\circ\text{C}$ . Aliás, nas duas últimas décadas não se registaram seqüências de 2 dias ou mais com temperatura mínima  $\leq -1^\circ\text{C}$  (P1).

**Gráfico 3 – Número de dias anuais com temperaturas máximas iguais ou superiores a  $31^\circ\text{C}$  e  $34^\circ\text{C}$ .**



Fonte: Monteiro, et al. 2012c (adaptado).

**Quadro 4 - Número de seqüências de dias, por década, com temperatura máxima.**

	≥ 31°C (P97)	≥ 32°C	≥ 33°C	≥ 34°C (P99)	≥ 35°C	≥ 36°C	≥ 37°C	≥ 38°C	≥ 39°C	≥ 40°C	Total
1901-1910	46	22	7	4	1						80
1911-1920	73	42	26	17	12	7	1				178
1921-1930	115	92	59	41	27	11	5	1			351
1931-1940	84	61	40	30	17	14	8	4	1	1	260
1941-1950	124	85	56	32	26	15	9	4	2		353
1951-1960	80	57	33	17	9	6	1	1			204
1961-1970	125	92	64	42	22	11	1	1			358
1971-1980	75	50	28	12	7	4	1				177
1981-1990	126	88	66	45	27	17	9	2			380
1991-2000	108	79	52	34	17	7	3				300
2001-2007	114	87	63	41	24	15	9	3	2		358
<b>Total</b>	<b>1070</b>	<b>755</b>	<b>494</b>	<b>315</b>	<b>189</b>	<b>107</b>	<b>47</b>	<b>16</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>2999</b>

Fonte: Monteiro, et al. 2012c (adaptado).

**Quadro 5 - Número de sequências de dias, por década, com temperatura máxima  $\geq 31^{\circ}\text{C}$ .**

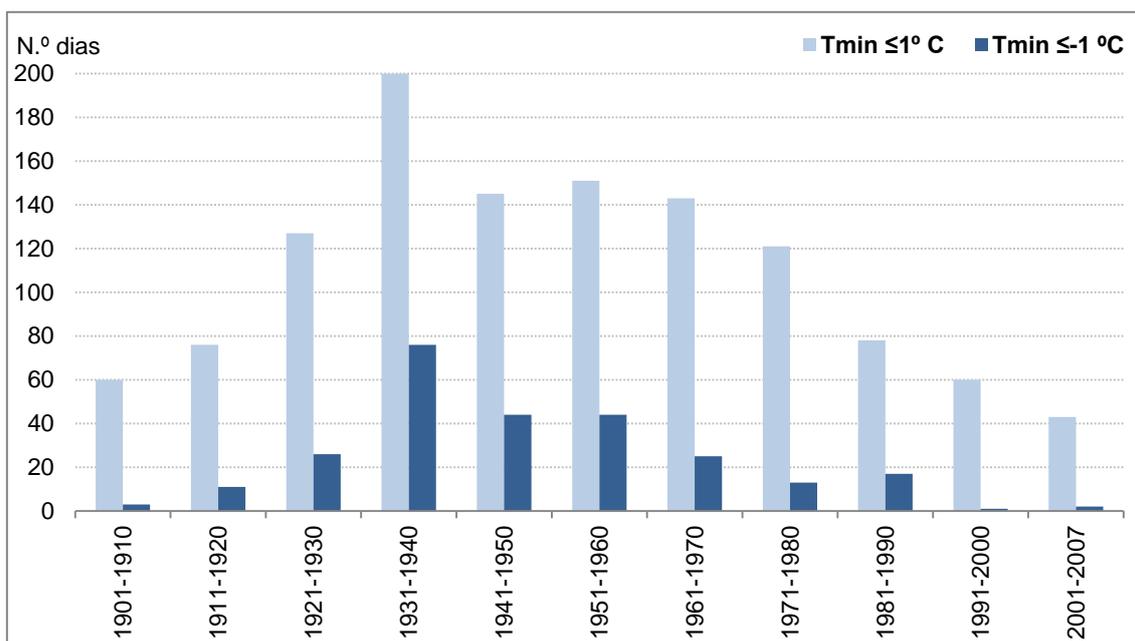
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>1901-1910</b>	9	2	1	0	0	0	0	0	0
<b>1911-1920</b>	7	4	3	2	0	0	0	0	0
<b>1921-1930</b>	11	9	5	0	1	1	0	0	0
<b>1931-1940</b>	11	5	1	4	0	0	0	0	0
<b>1941-1950</b>	21	8	3	1	1	0	0	0	0
<b>1951-1960</b>	7	5	3	1	0	0	0	0	0
<b>1961-1970</b>	16	10	5	0	2	0	0	0	0
<b>1971-1980</b>	13	3	2	1	0	0	0	0	0
<b>1981-1990</b>	13	9	5	3	0	0	1	0	0
<b>1991-2000</b>	15	7	3	1	0	0	0	1	0
<b>2001-2007</b>	15	6	5	2	0	1	0	0	1
<b>Total</b>	138	68	36	15	4	2	1	1	1

Fonte: Monteiro, et al. 2012c (adaptado).

**Quadro 6 - Número de sequências de dias, por década, com temperatura máxima  $\geq 34^{\circ}\text{C}$ .**

	2	3	4
<b>1901-1910</b>	0	0	0
<b>1911-1920</b>	4	2	0
<b>1921-1930</b>	4	4	1
<b>1931-1940</b>	3	2	2
<b>1941-1950</b>	6	2	0
<b>1951-1960</b>	2	0	0
<b>1961-1970</b>	7	4	0
<b>1971-1980</b>	2	0	0
<b>1981-1990</b>	5	3	2
<b>1991-2000</b>	5	0	1
<b>2001-2007</b>	4	3	3
<b>Total</b>	42	20	9

Fonte: Monteiro, et al. 2012c (adaptado).

**Gráfico 4 - Nº de dias anuais com temperaturas mínimas iguais ou inferiores a 1°C e -1°C.**


Fonte: Monteiro, et al. 2012c (adaptado).

**Quadro 7 - Número de seqüências de dias, por década, com temperatura mínima.**

	≤ 1° C (P3)	≤ 0° C	≤ -1° C (P1)	≤ -2° C	≤ -3° C	≤ -4° C	Total
1901-1910	60	20	3	2	1		86
1911-1920	76	30	11	1			118
1921-1930	127	63	26	10	3		229
1931-1940	200	133	76	25	8	1	443
1941-1950	145	88	44	18	3	1	299
1951-1960	151	97	44	18	5		315
1961-1970	143	67	25	5			240
1971-1980	121	56	13	4			194
1981-1990	78	40	17	6	1		142
1991-2000	60	23	1				84
2001-2007	43	9	2				54
<b>Total</b>	<b>1204</b>	<b>626</b>	<b>262</b>	<b>89</b>	<b>21</b>	<b>2</b>	<b>2204</b>

Fonte: Monteiro, et al. 2012c (adaptado).

**Quadro 8 - Número de seqüências de dias, por década, com temperatura mínima  $\leq 1^{\circ}\text{C}$  (P3).**

	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>1901-1910</b>	14	1	0	0	0	1	0	0	0
<b>1911-1920</b>	10	1	2	2	0	0	0	0	0
<b>1921-1930</b>	12	6	4	0	2	0	1	0	0
<b>1931-1940</b>	11	11	4	9	3	1	0	1	1
<b>1941-1950</b>	16	5	8	3	1	0	1	0	0
<b>1951-1960</b>	18	3	5	2	4	2	0	0	0
<b>1961-1970</b>	13	9	5	2	2	1	1	0	0
<b>1971-1980</b>	13	6	2	4	2	0	0	0	0
<b>1981-1990</b>	8	1	1	2	0	0	0	0	2
<b>1991-2000</b>	7	3	2	1	0	0	0	0	0
<b>2001-2007</b>	5	1	2	1	0	0	1	0	0
<b>Total</b>	127	47	35	26	14	5	4	1	3

Fonte: Monteiro, et al. 2012c (adaptado).

**Quadro 9 - Número de seqüências de dias, por década, com temperatura mínima  $\leq 1^{\circ}\text{C}$  (P1).**

	2	3	4	5
<b>1901-1910</b>	0	0	0	0
<b>1911-1920</b>	1	0	0	0
<b>1921-1930</b>	2	1	0	0
<b>1931-1940</b>	10	6	3	1
<b>1941-1950</b>	7	2	1	0
<b>1951-1960</b>	2	3	0	1
<b>1961-1970</b>	2	0	0	0
<b>1971-1980</b>	3	0	0	0
<b>1981-1990</b>	2	1	0	0
<b>1991-2000</b>	0	0	0	0
<b>2001-2007</b>	0	0	0	0
<b>Total</b>	29	13	4	2

Fonte: Monteiro, et al. 2012c (adaptado).

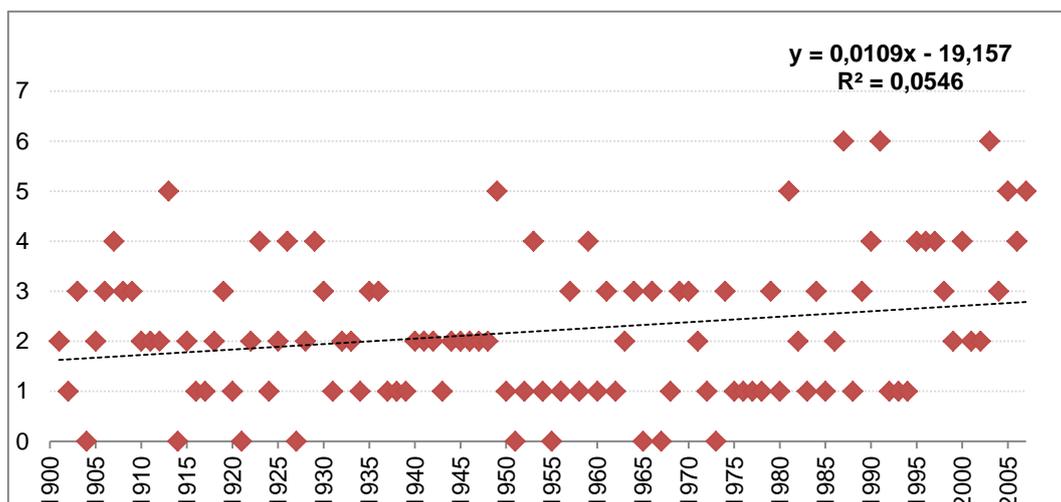
Em suma, de acordo com os índices mais comumente utilizados na literatura científica sobre esta temática<sup>3</sup>, o número de eventos extremos de calor tem vindo a aumentar e os de frio a diminuir após a década de 90 do século passado (Quadros 10 e 11 e Gráficos 5 e 6).

<sup>3</sup> Os índices utilizados na literatura internacional com maior frequência são o da Organização Meteorológica Mundial (OMM), o de Diaz, o de Thom e o Heat Index para os eventos extremos de calor e os da OMM, de Diaz, da OMM-CSDI, Australiano e Ondas para os eventos extremos de frio.

**Quadro 10 - Número de eventos extremos de calor por década, por índice.**

	OMM	Díaz	Thom's Index	Heat Index
1ª Déc. XX	0	21	sem dados	sem dados
Déc.10	3	20	sem dados	sem dados
Déc.20	3	20	sem dados	sem dados
Déc.30	2	18	sem dados	sem dados
Déc.40	5	22	sem dados	sem dados
Déc.50	3	16	sem dados	sem dados
Déc.60	5	17	sem dados	sem dados
Déc.70	2	16	7	11
Déc.80	2	25	8	14
Déc.90	6	30	6	12
1ª Déc. XXI	6	31	10	14
<b>TOTAL</b>	<b>37</b>	<b>236</b>	<b>31</b>	<b>51</b>

Fonte: Monteiro, et al. 2012c (adaptado).

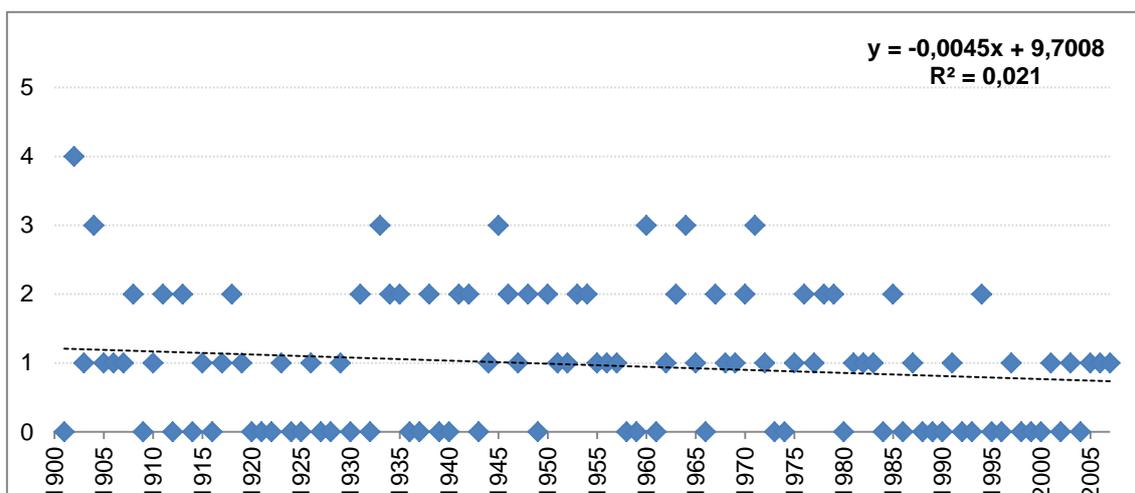
**Gráfico 5 - Tendência secular de eventos climáticos extremos de calor (Díaz).**


Fonte: Monteiro, et al. 2012c (adaptado).

**Quadro 11 - Número de eventos extremos de frio por década, por índice.**

	Díaz	OMM	OMM-CSDI	Australiano	Ondas
1ª Déc. XX	13	0	5	3	7
Déc.10	10	1	9	7	17
Déc.20	3	4	12	7	23
Déc.30	11	8	21	19	27
Déc.40	13	5	14	12	23
Déc.50	11	5	16	14	25
Déc.60	14	1	13	14	19
Déc.70	14	4	14	15	18
Déc.80	6	3	10	9	17
Déc.90	4	2	7	5	15
1ª Déc. XXI	5	0	6	4	10
<b>TOTAL</b>	<b>104</b>	<b>33</b>	<b>127</b>	<b>109</b>	<b>201</b>

Fonte: Monteiro, et al. 2012c (adaptado).

**Gráfico 6 - Tendência secular de eventos climáticos extremos de frio (Díaz).**


Fonte: Monteiro, et al. 2012c (adaptado).

### 2.1.3. Conforto bioclimático.

Mais do que observar o comportamento individual de cada um dos elementos climáticos no Porto, é importante avaliar quais são as condições de *conforto bioclimático* para os seres humanos que residem ou utilizam o espaço portuense. Isso significa que não basta saber tudo o que até aqui foi dito. É necessário estimar os índices de conforto, isto é a combinação de todos esses e outros elementos climáticos considerando simultaneamente as características dos seres humanos alvos desse envelope de ar momentâneo.

O *Physiologically Equivalent Temperature* (PET), é um dos muitos índices de conforto utilizados para este fim, que considera no seu procedimento de cálculo, a temperatura do ar, a humidade do ar, o vento, a radiação solar, a massa corporal, a idade, o sexo, o tipo de roupa utilizada e as trocas de calor entre o corpo humano e o espaço envolvente.

Assim, procuramos estimar as condições de conforto bioclimático sentidas pelos seres humanos calculando a PET com recurso aos *softwares* Solweig 2.3 e Rayman 1.2 e utilizando os registos de Porto-Pedras Rubras<sup>4</sup> (Gráficos 7 e 8).

Os resultados obtidos para um indivíduo comum<sup>5</sup> mostram que:

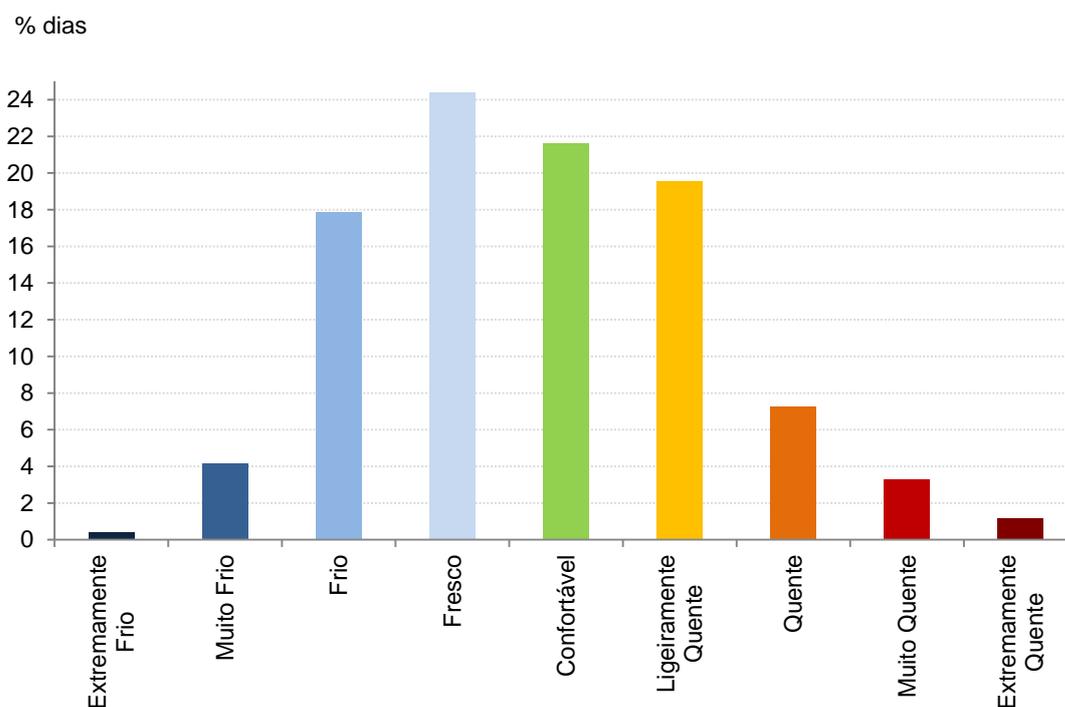
i) a percentagem de dias com desconforto térmico devido ao frio (47%) tem sido superior à devida ao calor (31%);

<sup>4</sup> Foi utilizada a estação climatológica de Porto-Pedras Rubras porque é a única que possui as variáveis radiação solar direta e difusa necessárias para o cálculo da PET.

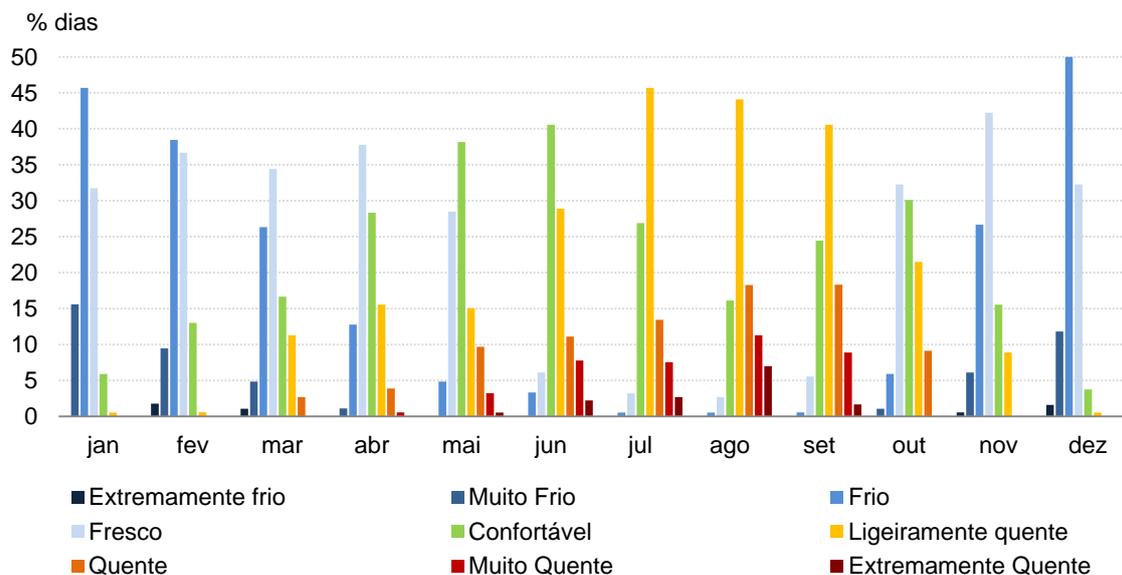
<sup>5</sup> A PET pode ser estimada para um cidadão comum servindo-se para o cálculo das constantes disponíveis na equação ou introduzir modificações no cálculo fazendo variar, o sexo, o peso, a altura ou a idade dos indivíduos. No primeiro caso teremos a temperatura equivalente à temperatura do ar de um ambiente de referência no qual um indivíduo com características normalizadas pelo modelo (sexo, idade, altura, roupa, etc.) tem as mesmas respostas fisiológicas do organismo (Höppe, 1999; Matzarakis et al., 1999). No segundo caso podemos avaliar o conforto de indivíduos com características diversas perante a mesma combinação de variáveis climáticas.

- ii) a percentagem de dias extremamente frios e muito frios tem sido semelhante à percentagem de dias muito quentes e extremamente quentes (4%);
- iii) apenas 22% dos dias tiveram condições de conforto;
- iv) o período entre novembro e fevereiro tem sido o que tem maior percentagem de dias de desconforto devido ao frio (>75%);
- v) o período entre junho e setembro tem sido o que tem maior percentagem de dias de desconforto devido ao calor (>50%);
- vi) o mês de junho tem apresentado a maior percentagem de dias de conforto térmico (41%);
- v) o mês de agosto tem sido o que tem apresentado a maior percentagem de dias de desconforto devido ao calor (81%);
- vi) os meses de dezembro e janeiro têm sido os meses com maior percentagem de dias de desconforto devido ao frio (96% e 93%);
- vii) o ano de 2003 foi o ano que teve a maior percentagem de dias muito frios e extremamente frios (6,3%);
- viii) os anos de 2003 e 2006 foram os anos que tiveram a maior percentagem de dias muito quentes e extremamente quentes (5,8% e 7,4%);
- ix) o ano de 2004 foi o ano que apresentou a maior percentagem de dias confortáveis (24%).

**Gráfico 7 - Conforto bioclimático no Porto estimado a partir da PET no Porto (2002-2007).**



Fonte: Monteiro, et al. 2012c (adaptado).

**Gráfico 8 - PET por mês no Porto (2002-2007).**


Fonte: Monteiro, et al. 2012c (adaptado).

Seguidamente executamos, a título de exemplo, o mesmo índice de conforto para os meses de Agosto e Dezembro de 2016, fazendo variar apenas as algumas características dos seres humanos (crianças, adultos, idosos, peso normal e peso acima do normal, sexo masculino e feminino), e verificamos que perante as mesmas condições de climáticas, a condição de conforto é muito diversa (Quadros 12 a 15).

Em Dezembro de 2016, a maioria das mulheres e dos homens até aos 34 anos e mesmo com excesso de peso, sentiram-se confortáveis (PET= 18°C-22°C). A maioria das mulheres e homens com mais de 64 anos independentemente do peso sentiram-se desconfortáveis (ligeiramente quente- PET= 23°C-28°C).

Com este exercício procuramos chamar a atenção para a necessidade de incluir as características físicas, sociais, económicas e biológicas na definição do risco de calor ou frio extremo. Não basta, portanto, observar os resultados do termómetro. É necessário combinar esta variável com muitas mais características da envolvente e da condição física de cada indivíduo.

**Quadro 12- Número e percentagem de dias - PET no Porto (Homens-Agosto de 2016).**

Níveis (°C)	10 anos, 30 kg, 135 cm		35 anos, 75kg, 175 cm		35 anos 110kg, 175 cm		64 anos, 75 kg, 170 cm		84 anos, 75kg, 170cm		84 anos, 110kg, 170cm	
	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%
Extremamente frio < 4	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
Muito frio 5 - 7	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
Frio 8 -12	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
Fresco 13 -17	1	3.2	1	3.2	1	3.2	1	3.2	0	0.0	0	0.0
Confortável 18 - 22	2	6.5	2	6.5	2	6.5	1	6.5	2	6.5	2	6.5
Ligeiramente quente 23 - 28	0	0.0	0	0.0	0	0.0	1	3.2	1	3.2	1	3.2
Quente 29 - 34	1	3.2	1	3.2	1	3.2	1	3.2	1	3.2	1	3.2
Muito quente 35 - 40	2	6.5	2	6.5	2	6.5	2	6.5	2	6.5	2	6.5
Extremamente quente > 41	25	<b>80.6</b>	25	<b>80.6</b>	25	<b>80.6</b>	25	<b>80.6</b>	25	<b>80.6</b>	25	<b>80.6</b>

Fonte: Grupo Clima e Ambiente Urbano, CEGOT, 2017.

**Quadro 13 - Número e percentagem de dias - PET no Porto (Mulheres-Agosto de 2016).**

Níveis (°C)	10 anos, 30 kg, 135 cm		35 anos, 75kg, 175 cm		35 anos 110kg, 175 cm		64 anos, 75 kg, 170 cm		84 anos, 75kg, 170cm		84 anos, 110kg, 170cm	
	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%
Extremamente frio < 4	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
Muito frio 5 - 7	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
Frio 8 -12	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
Fresco 13 -17	1	3.2	1	3.2	1	3.2	1	3.2	0	0.0	0	0.0
Confortável 18 - 22	2	6.5	1	3.2	1	3.2	1	3.2	2	6.5	2	6.5
Ligeiramente quente 23 - 28	0	0.0	1	3.2	1	3.2	1	3.2	1	3.2	1	3.2
Quente 29 - 34	1	3.2	1	3.2	1	3.2	1	3.2	1	3.2	1	3.2
Muito quente 35 - 40	2	6.5	2	6.5	2	6.5	2	6.5	2	6.5	2	6.5
Extremamente quente > 41	25	<b>80.6</b>	25	<b>80.6</b>	25	<b>80.6</b>	25	<b>80.6</b>	25	<b>80.6</b>	25	<b>80.6</b>

Fonte: Grupo Clima e Ambiente Urbano, CEGOT, 2017.

**Quadro 14 - Número e percentagem de dias - PET no Porto (Homens-Dezembro de 2016).**

Níveis (°C)	10 anos, 30 kg, 135 cm		35 anos, 75kg, 175 cm		35 anos 110kg, 175 cm		64 anos, 75 kg, 170 cm		84 anos, 75kg, 170cm		84 anos, 110kg, 170cm	
	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%
Extremamente frio < 4	1	3.2	1	3.2	1	3.2	0	0.0	0	0.0	0	0.0
Muito frio 5 - 7	1	3.2	0	0.0	0	0.0	1	3.2	1	3.2	1	3.2
Frio 8 -12	2	6.5	2	6.5	2	6.5	2	6.5	2	6.5	2	6.5
Fresco 13 -17	7	22.6	7	22.6	4	12.9	1	3.2	1	3.2	1	3.2
Confortável 18 - 22	14	<b>45.2</b>	15	<b>48.4</b>	18	<b>58.1</b>	6	19.4	9	29.0	9	29.0
Ligeiramente quente 23 - 28	4	12.9	4	12.9	4	12.9	19	<b>61.3</b>	16	<b>51.6</b>	16	<b>51.6</b>
Quente 29 - 34	2	6.5	2	6.5	2	6.5	2	6.5	2	6.5	2	6.5
Muito quente 35 - 40	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
Extremamente quente > 41	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0

Fonte: Grupo Clima e Ambiente Urbano, CEGOT, 2017.

**Quadro 15 - Número e percentagem de dias - PET no Porto (Mulheres-Dezembro de 2016).**

Níveis (°C)	10 anos, 30 kg, 135 cm		35 anos, 75kg, 175 cm		35 anos 110kg, 175 cm		64 anos, 75 kg, 170 cm		84 anos, 75kg, 170cm		84 anos, 110kg, 170cm	
	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%
Extremamente frio < 4	1	3.2	1	3.2	1	3.2	0	0.0	0	0.0	0	0.0
Muito frio 5 - 7	1	3.2	0	0.0	0	0.0	1	3.2	1	3.2	1	3.2
Frio 8 -12	1	3.2	2	6.5	2	6.5	2	6.5	2	6.5	2	6.5
Fresco 13 -17	8	25.8	6	19.4	5	16.1	1	3.2	1	3.2	0	0.0
Confortável 18 - 22	16	<b>51.6</b>	14	<b>45.2</b>	15	<b>48.4</b>	9	29.0	9	29.0	10	32.3
Ligeiramente quente 23 - 28	2	6.5	6	19.4	6	19.4	16	<b>51.6</b>	16	<b>51.6</b>	16	<b>51.6</b>
Quente 29 - 34	2	6.5	2	6.5	2	6.5	2	6.5	2	6.5	2	6.5
Muito quente 35 - 40	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
Extremamente quente > 41	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0

Fonte: Grupo Clima e Ambiente Urbano, CEGOT, 2017.

#### 2.1.4. Ilhas de calor e de frescura (verão e inverno).

Como se referiu anteriormente, a informação disponível nas estações climatológicas de Porto-Serra do Pilar (1900-2007) e de Porto-Pedras Rubras (2002-2016) permite-nos ter uma ideia do comportamento passado e presente do sistema climático portuense comparativamente com o de outras estações de monitorização climática espalhadas pelo globo mas informa-nos muito pouco sobre o complexo puzzle de contextos climáticos existentes dentro do espaço urbano.

Esta diferenciação térmica, higrométrica e anemométrica intraurbana, que se refletirá naturalmente em condições de conforto bioclimático muito diversas, decorre das condições geográficas naturais (altitude, distância ao mar, distância ao rio, exposição solar, declive, etc.), da artificialização do uso do solo e das novas volumetrias criadas, assim como das atividades existentes.

Para conhecer a forma e a magnitude das ilhas de calor e de frescura é necessário recorrer a outras estratégias metodológicas para além da informação pontual dada pelas estações climatológicas oficiais de referência. É necessário encontrar abordagens metodológicas que considerem a anatomia e a fisiologia concreta deste espaço urbano em 2016.

Para isso, socorremo-nos de três metodologias diversas comumente utilizadas para estimar as nuances térmicas em espaços profundamente artificializados, como acontece no Porto: i) medições itinerantes de temperatura; ii) imagens térmicas do Landsat 8; iii) Wudapt.

Apesar de termos experimentado as três metodologias, analisaremos pormenorizadamente os resultados obtidos apenas pelas duas primeiras, já que a última vocaciona-se sobretudo para a elaboração de uma carta de Zonamento Climático Local (LCZ), ultrapassando portanto o propósito pretendido.

#### Resultados das Medições Itinerantes

A partir de um percurso de medições itinerantes levado a cabo sistematicamente nos últimos 30 anos composto por 241 pontos de medição (Figura 3), verificou-se que ocorrem frequentemente anomalias térmicas positivas em praticamente toda a área urbana, que podem atingir uma magnitude de 6°C (Figura 4). Todavia, na área leste e nordeste da cidade assim como ao longo da margem ribeirinha do Douro são frequentes anomalias térmicas negativas que podem atingir os -2°C.

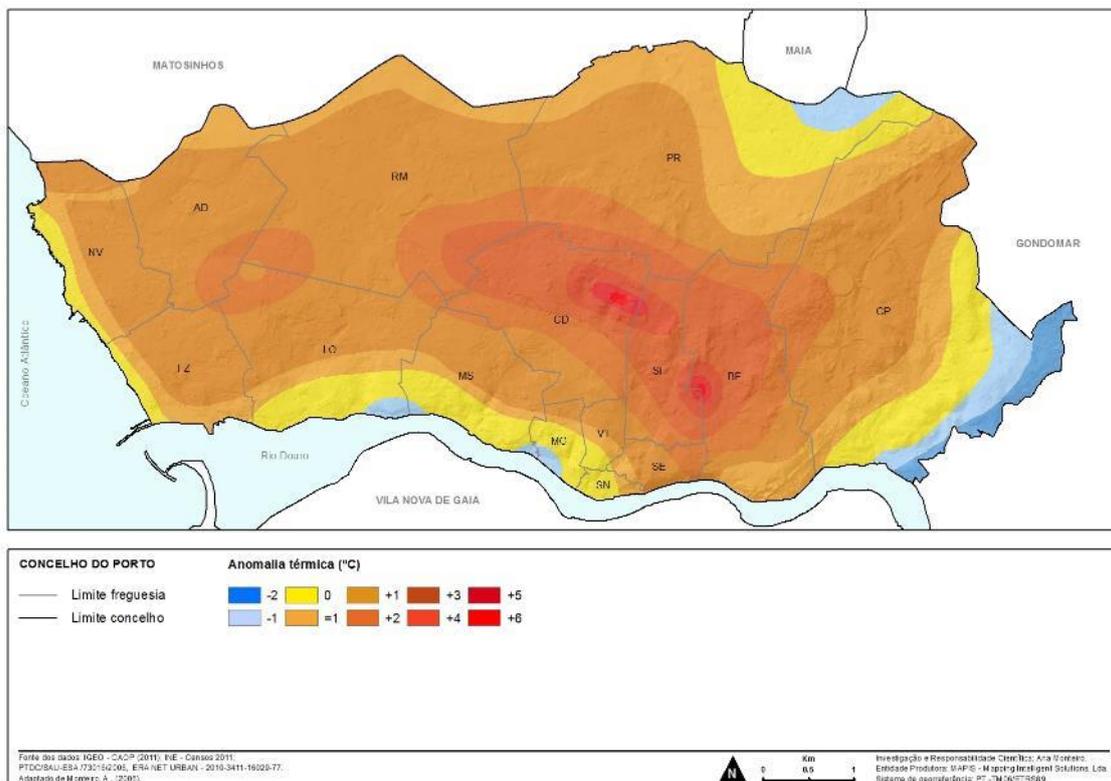
O padrão de comportamento das anomalias térmicas, quer quanto à magnitude, quer quanto à forma, depende da situação sinóptica presente, da velocidade e rumo do vento, da estação do ano, do dia da semana, da hora do dia, etc. A plasticidade destes microclimas no tempo e no espaço é muito grande e, portanto, de muito difícil avaliação (Monteiro, 1997; Góis, 2004; Balkestahl, 2005, 2014; Monteiro et al. 2012a, 2012c, 2013a, 2013b, 2013d, 2014; Amorim et al., 2016a; Thorsson et al., 2017).

Figura 3 - Medições itinerantes no concelho do Porto.



Fonte: Monteiro, 1990-2017.

Figura 4 - Anomalias térmicas muito prováveis.

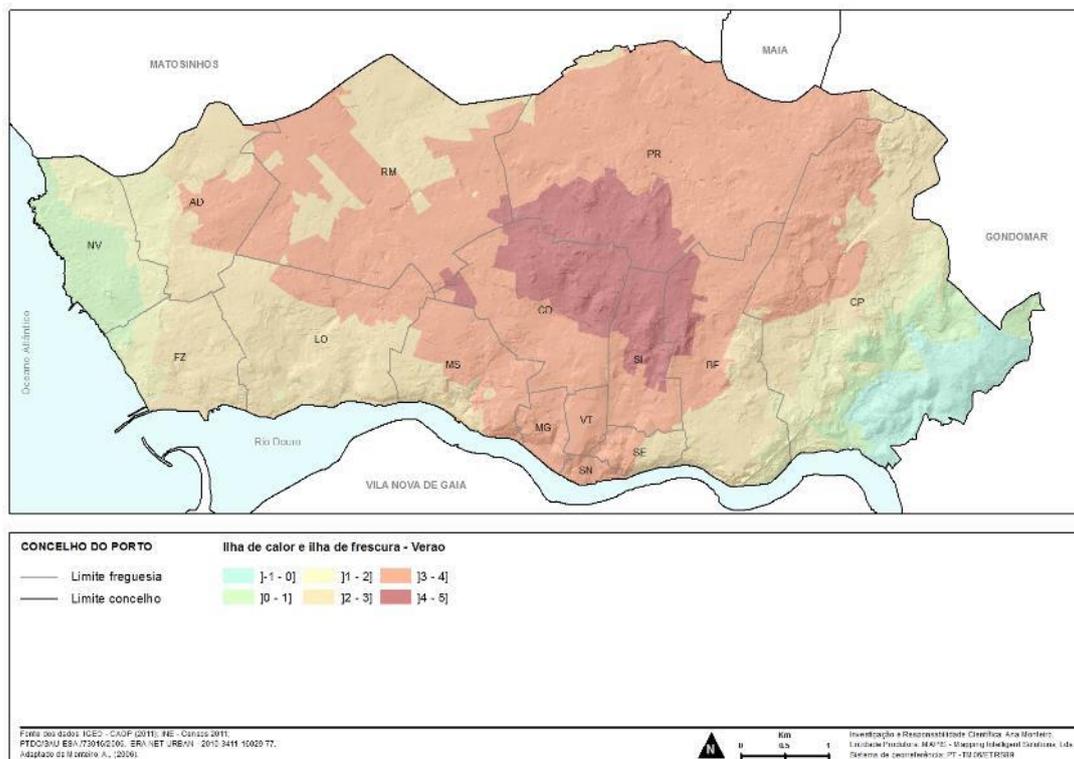


Fonte: Monteiro, 2006 (adaptado).

Dentre os inúmeros casos particulares coligidos ao longo do processo de investigação, seleccionámos dois exemplos que têm sido bastante utilizados nas várias experiências realizadas para a cidade do Porto e que são bastante comuns na época mais quente e mais fria do ano. Estes dois exemplos correspondem ao contexto térmico monitorizado nas noites de 4 de Agosto de 1998 (anticiclone atlântico subtropical; vento NE; velocidade do vento 0,2m/s.) e de 22 de janeiro de 1998 (margem anticiclónica; vento NW; velocidade do vento 1m/s). Os resultados das anomalias térmicas foram transpostos para cada uma das subsecções estatísticas, considerando, depois da *krigagem* dos valores pontuais medidos, o valor mais elevado estimado para a subsecção no exemplo de verão e o valor mais baixo no exemplo de inverno (Figuras 5 e 6).

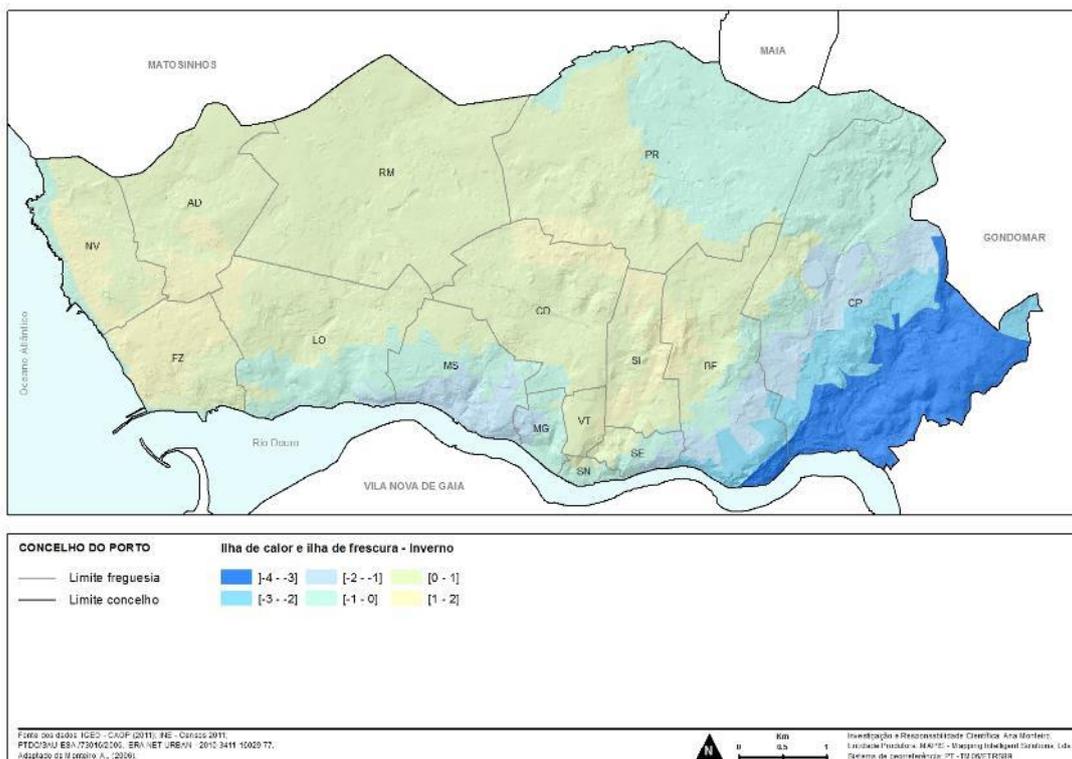
Tanto no verão como no inverno é, portanto, muito provável que as ilhas de calor e de frescura a esta escala de análise ocorram nas áreas delineadas nas Figuras 5 e 6. Estas áreas parecem coincidir com os contributos adicionais de energia artificial que alimentam o subsistema climático e que são provenientes das inúmeras atividades antrópicas, da profusão de materiais de revestimento com propriedades térmicas diversas, da impermeabilização dos solos, da escassez de vegetação, da diminuição do *sky view factor*<sup>6</sup> e, naturalmente da modificação da composição química da atmosfera que tende a facilitar muito mais a retenção de energia a e dificulta a sua perda por irradiação para a atmosfera (Madureira 2011, 2014; Monteiro et al, 2012c).

**Figura 5 - Anomalias térmicas muito prováveis (Verão).**



<sup>6</sup> Designação utilizada para indicar a porção de céu visível num determinado ponto de observação.

Figura 6 - Anomalias térmicas muito prováveis (Inverno).



Fonte: Esteves, 2010 (adaptado).

### Resultados das Imagens Térmicas

A partir da análise das imagens do Landsat-8 disponíveis e legíveis para o concelho do Porto durante o ano de 2016, procurámos confirmar e/ou infirmar o diagnóstico obtido com as medições itinerantes, já que com este procedimento – a temperatura dos alvos – podemos começar a ter informação sobre os potenciais contributos das várias peças do puzzle urbano para a temperatura do ar no canopy layer<sup>7</sup> registada no procedimento metodológico anterior.

O Landsat 8 é o satélite mais recente, lançado a 11 de fevereiro de 2013 pela NASA na base aérea de Vandenberg no estado da Califórnia (EUA), que opera a uma altitude de 705 km, numa órbita sincronizada com o sol, com inclinação de 98,2° e que disponibiliza imagens de praticamente todo o globo. Dentre as bandas espectrais disponíveis aproveitamos para este exercício apenas a banda do termal-infravermelho (10.6 µm- 11.19 µm).

As imagens disponíveis para o Porto correspondem à temperatura dos alvos entre as 11h13m e as 11h19m de 15 em 15 dias em dias. Como se sabe, este não é o momento do dia em que o efeito dos inputs adicionais de energia nos subsistemas climáticos de espaços urbanizados é mais importante e, nesse sentido, os resultados obtidos subestimam o contributo da artificialização do território para o balanço energético portuense.

<sup>7</sup> Camada da atmosfera entre o solo e o nível dos telhados.

Para além deste constrangimento incontornável, acresce ainda que nem todas as imagens disponíveis são legíveis já que a presença frequente de nebulosidade inviabiliza a sua utilização para os fins pretendidos.

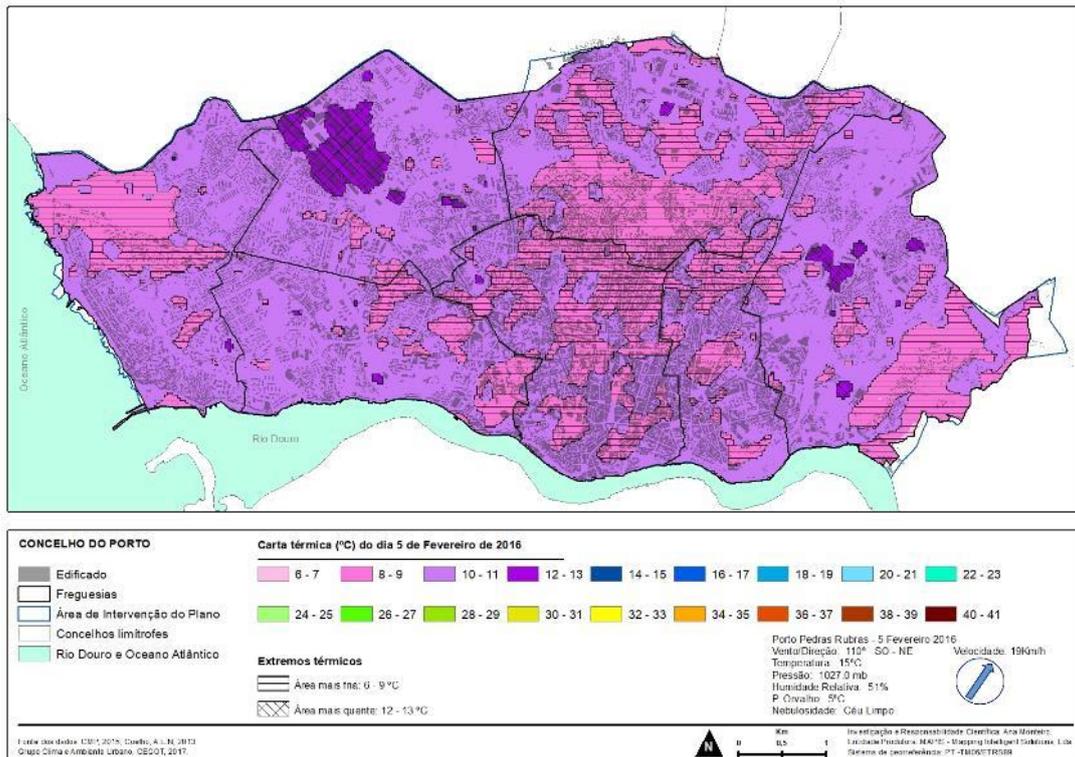
Assim, das imagens disponíveis para o ano de 2016 apenas foi possível utilizar onze imagens (5 de fevereiro, 24 de março, 25 de abril, 19 e 28 de junho, 14 de julho, 6 e 15 de agosto, 16 de setembro, 2 de outubro e 5 de dezembro) e, para 2017, somente uma imagem (6 de janeiro). Destas, seleccionámos para esta breve análise apenas dois exemplos - 5 de fevereiro e 14 de julho – embora as apresentemos todas justamente para testemunhar como o uso do solo condiciona a energia irradiada para a atmosfera, para o envelope de ar envolvente e para a superfície terrestre (Figuras 7 a 18).

Como a temperatura cartografada nas Figuras 7 a 18 é a dos alvos e não a temperatura do ar, como acontecia no procedimento metodológico anterior, foi associado a cada uma das imagens o *layer* do edificado por forma a ser possível interpretar melhor a diferenciação térmica.

A análise destas imagens térmicas evidencia a presença muito frequente de duas bolsas de frescura na área do Parque da cidade do Porto, no polo universitário da Asprela, e entre o Parque Oriental e o bairro do Lagarteiro. A área empresarial do Porto, e Ramalde, a noroeste da cidade, e a área entre o Mercado Abastecedor, o Estádio do Dragão, a nordeste, são repetidamente bolsas de calor.

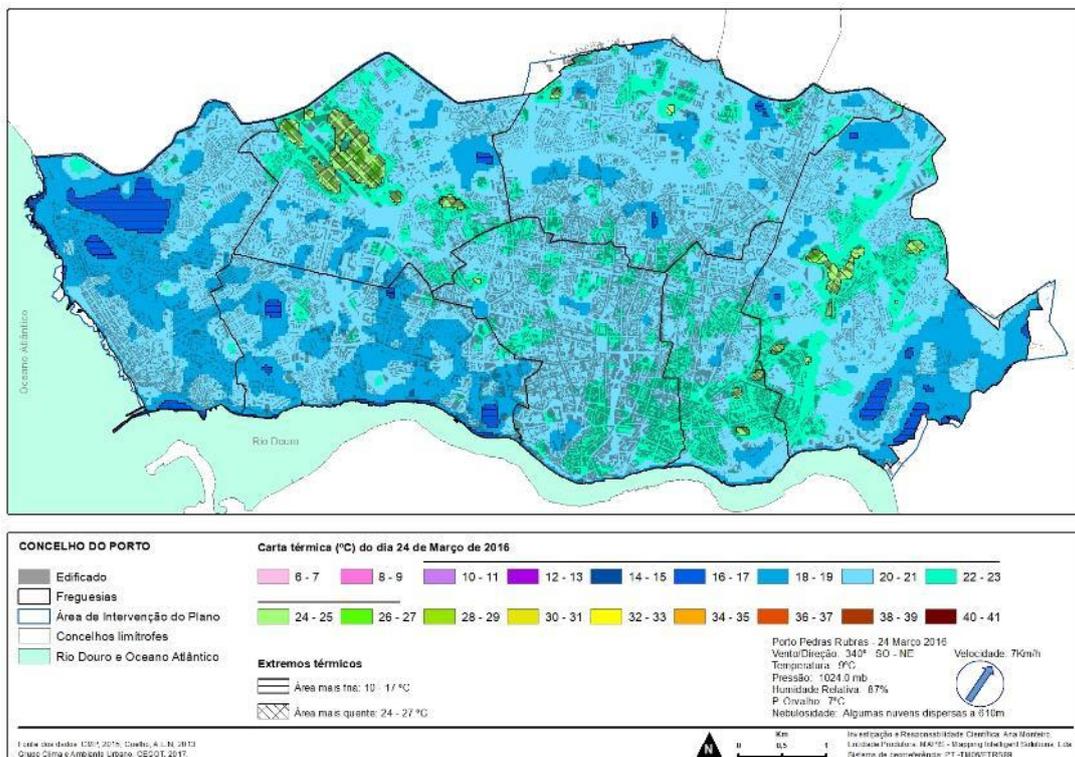
Tanto no dia 5 de fevereiro de 2016, em que os alvos registaram temperaturas entre os 5°C e os 13°C, como no dia 14 de Julho de 2016, em que os alvos registaram temperaturas entre os 14°C e os 39°C, ambos às 11h, os mosaicos mais quentes e mais frescos mantêm-se (Figuras 7 e 12).

Figura 7 - Carta térmica do dia 5 de fevereiro de 2016.



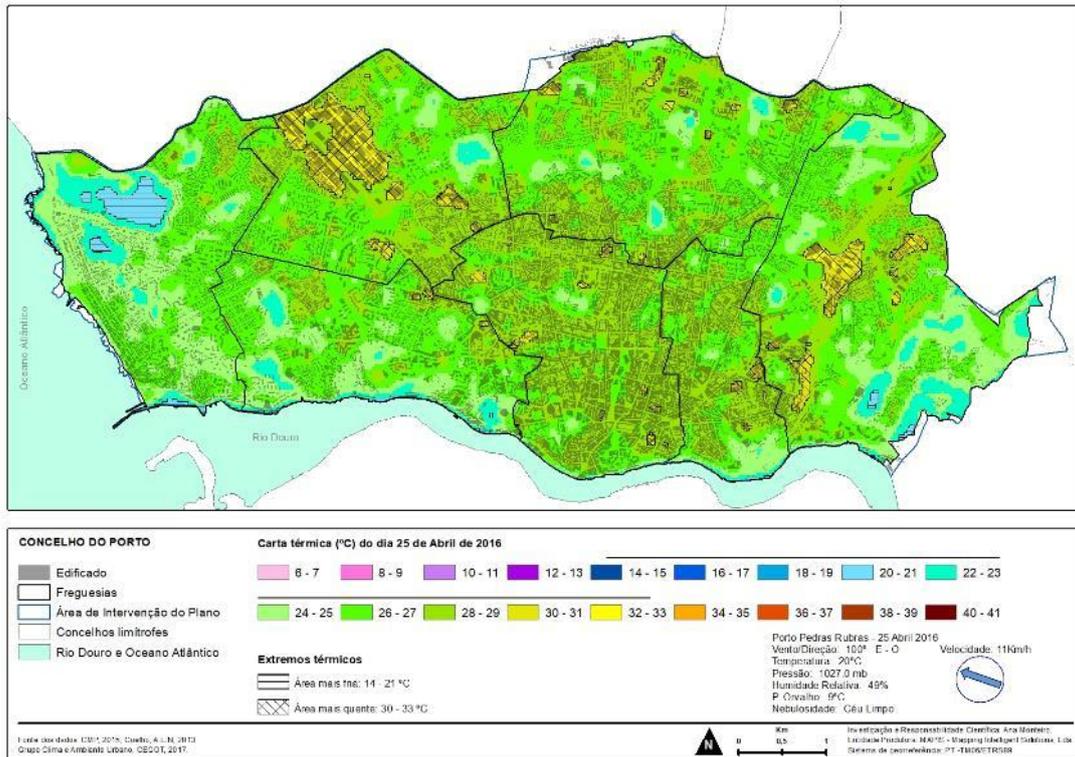
Fonte: Grupo Clima e Ambiente Urbano, CEGOT, 2017.

Figura 8 - Carta térmica do dia 24 de março de 2016.



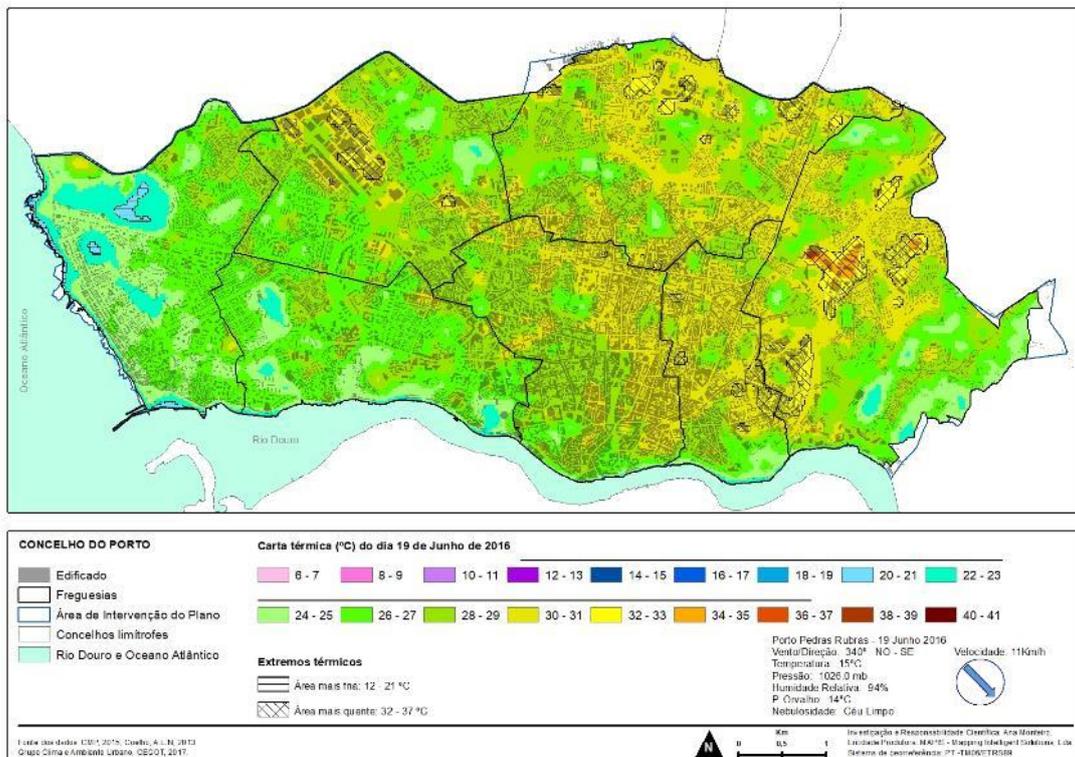
Fonte: Grupo Clima e Ambiente Urbano, CEGOT, 2017.

Figura 9 - Carta térmica do dia 25 de abril de 2016.



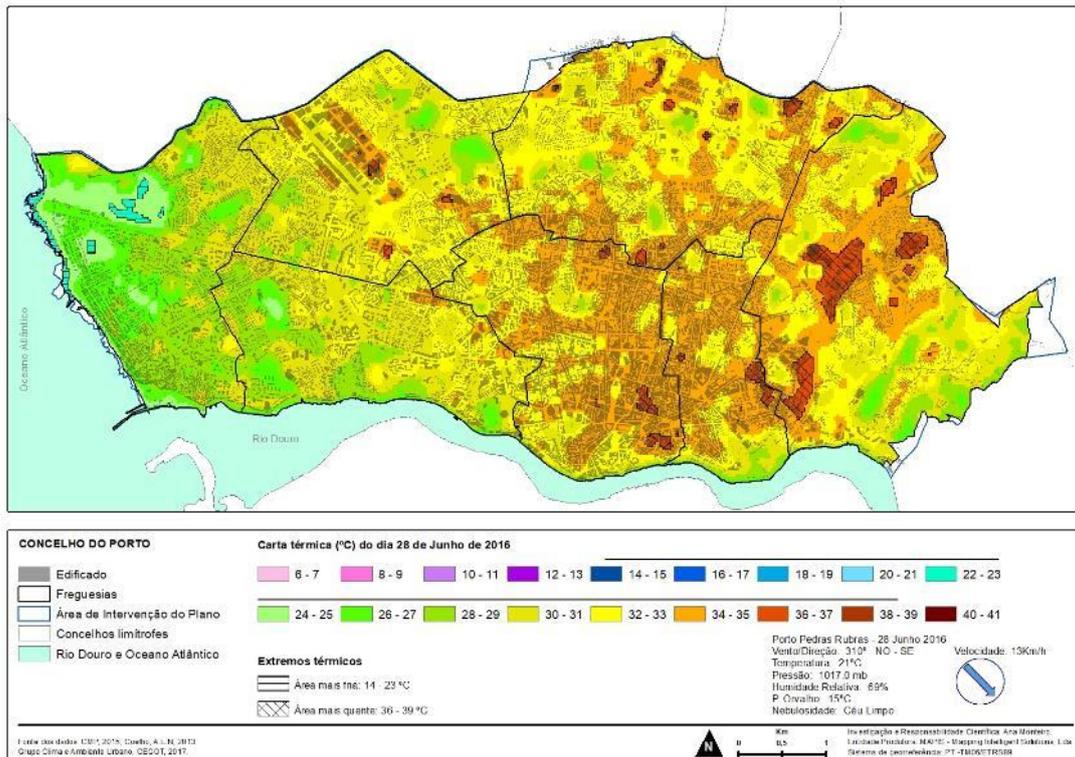
Fonte: Grupo Clima e Ambiente Urbano, CEGOT, 2017.

Figura 10 - Carta térmica do dia 19 de junho de 2016.



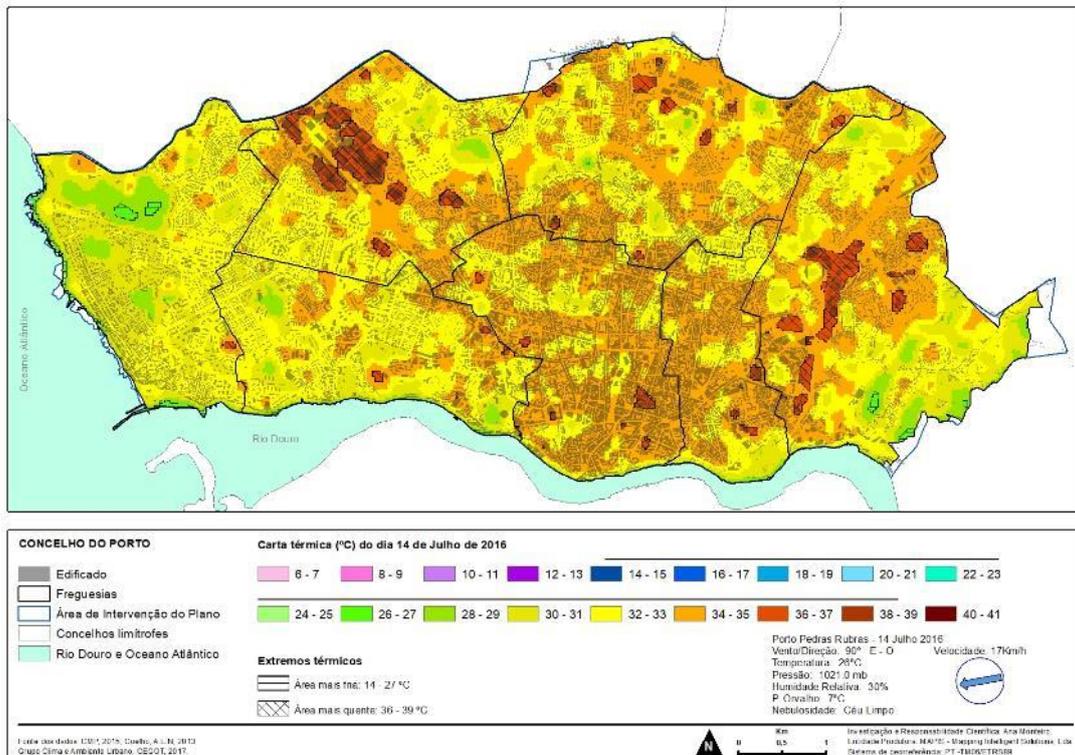
Fonte: Grupo Clima e Ambiente Urbano, CEGOT, 2017.

Figura 11 - Carta térmica do dia 28 de junho de 2016.



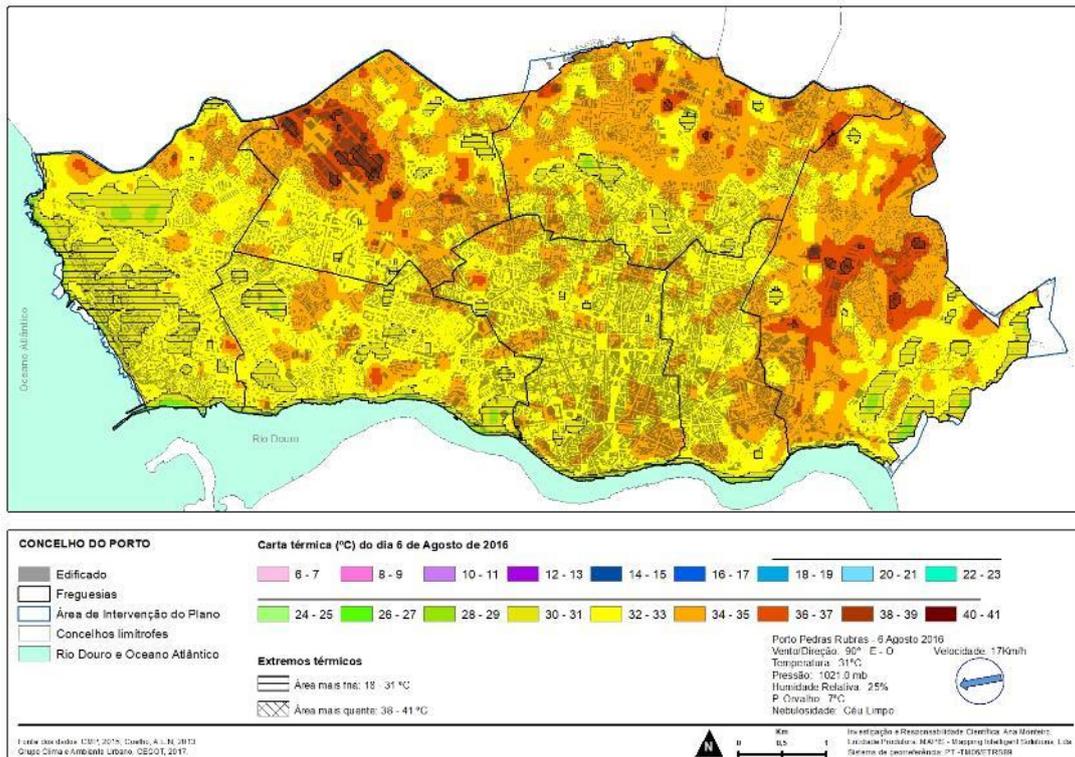
Fonte: Grupo Clima e Ambiente Urbano, CEGOT, 2017.

Figura 12 - Carta térmica do dia 14 de julho de 2016.



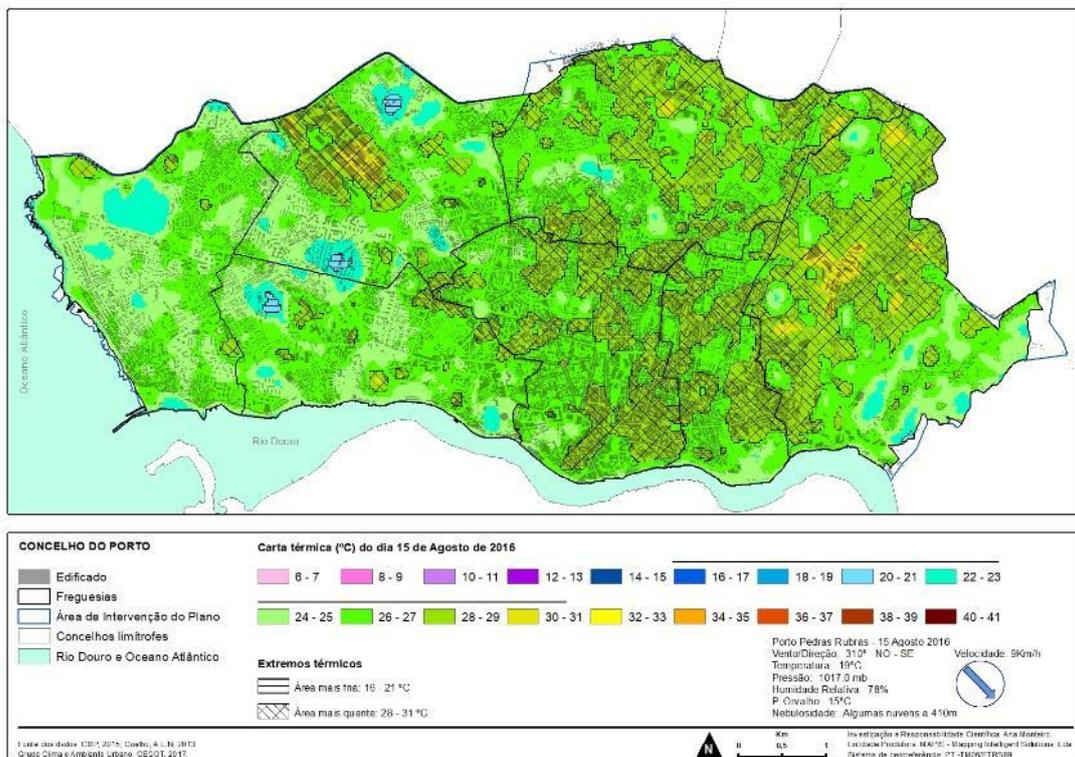
Fonte: Grupo Clima e Ambiente Urbano, CEGOT, 2017.

Figura 13 - Carta térmica do dia 06 de agosto de 2016.



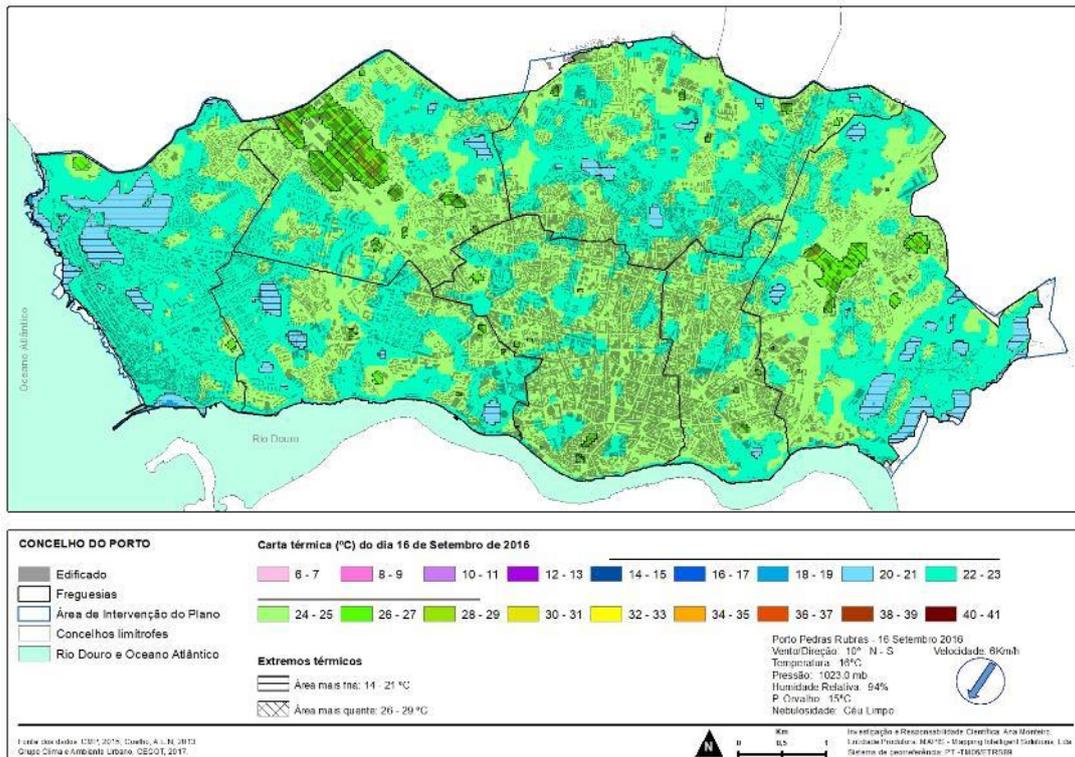
Fonte: Grupo Clima e Ambiente Urbano, CEGOT, 2017.

Figura 14 - Carta térmica do dia 15 de agosto de 2016.



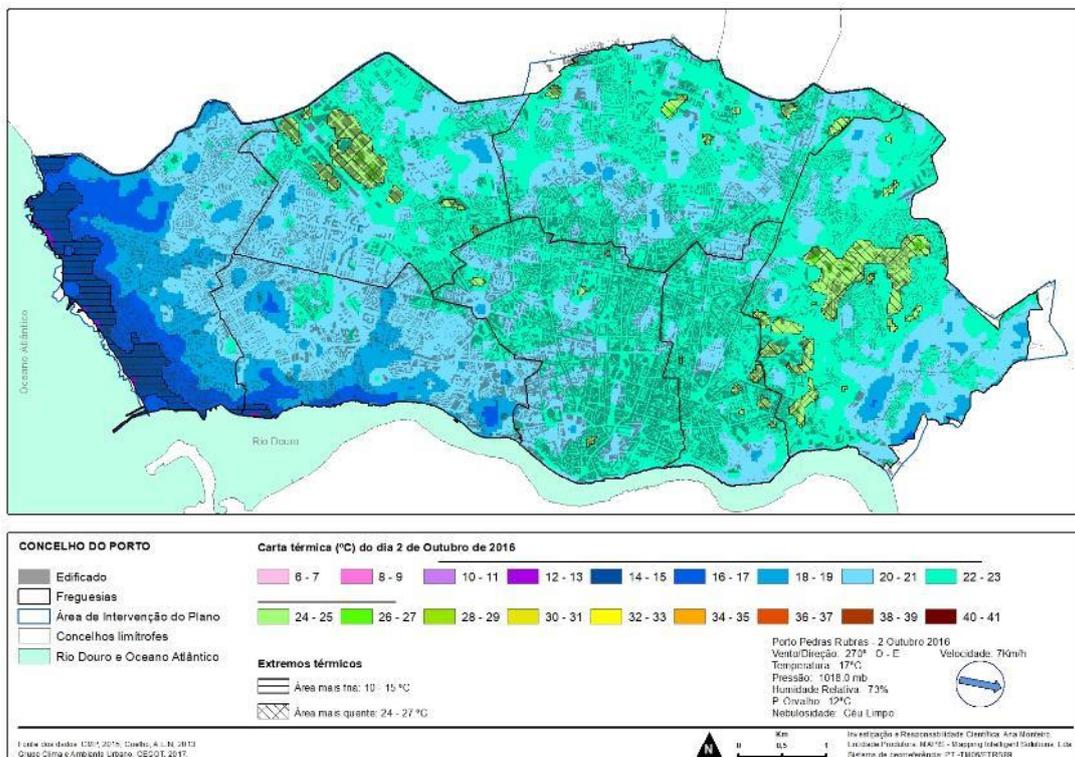
Fonte: Grupo Clima e Ambiente Urbano, CEGOT, 2017.

Figura 15 - Carta térmica do dia 16 de setembro de 2016.



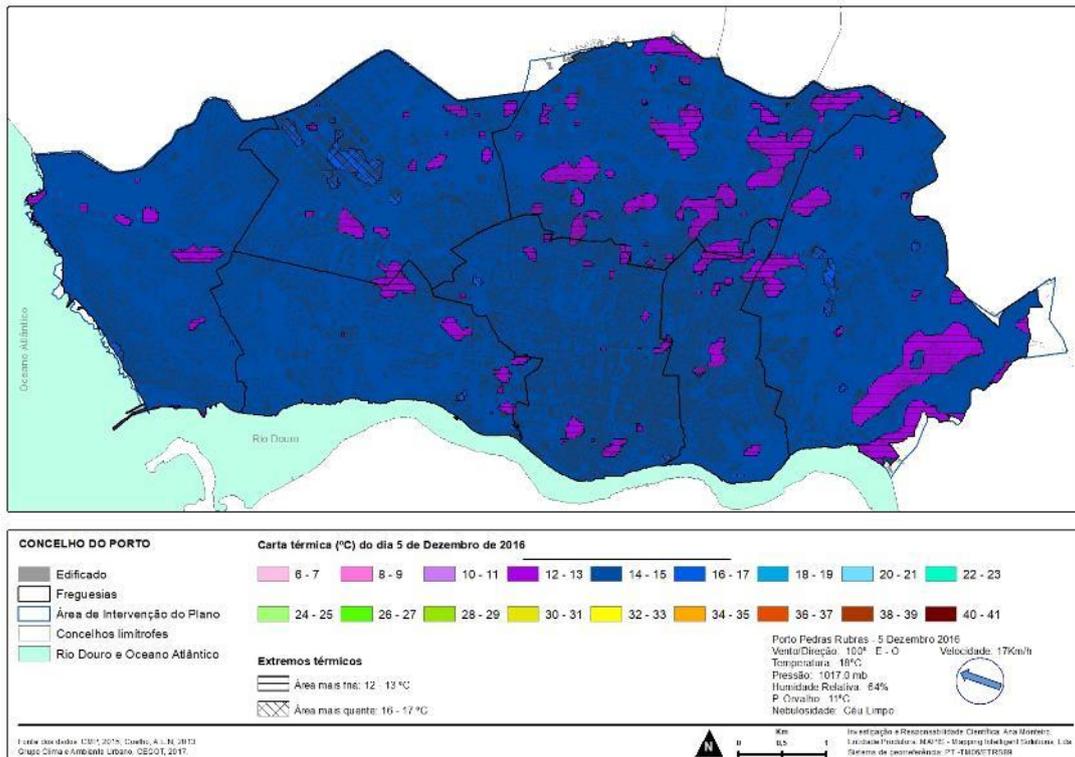
Fonte: Grupo Clima e Ambiente Urbano, CEGOT, 2017.

Figura 16 - Carta térmica do dia 02 de outubro de 2016.



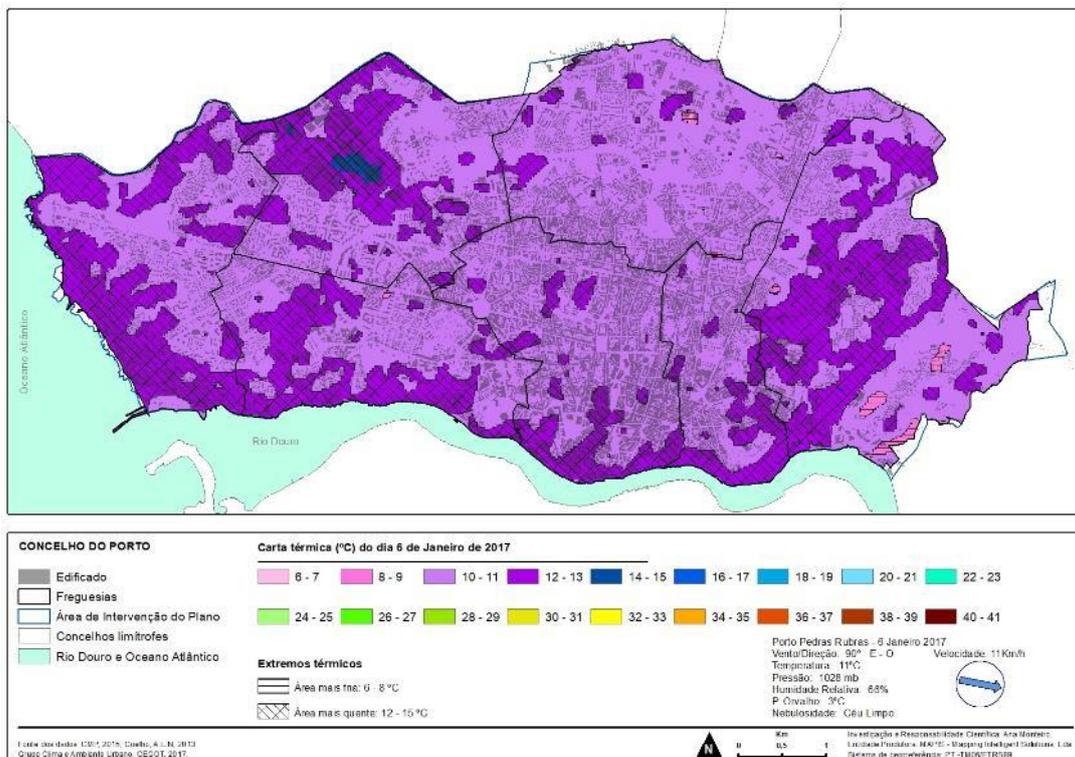
Fonte: Grupo Clima e Ambiente Urbano, CEGOT, 2017.

Figura 17 - Carta térmica do dia 05 de dezembro de 2016.



Fonte: Grupo Clima e Ambiente Urbano, CEGOT, 2017.

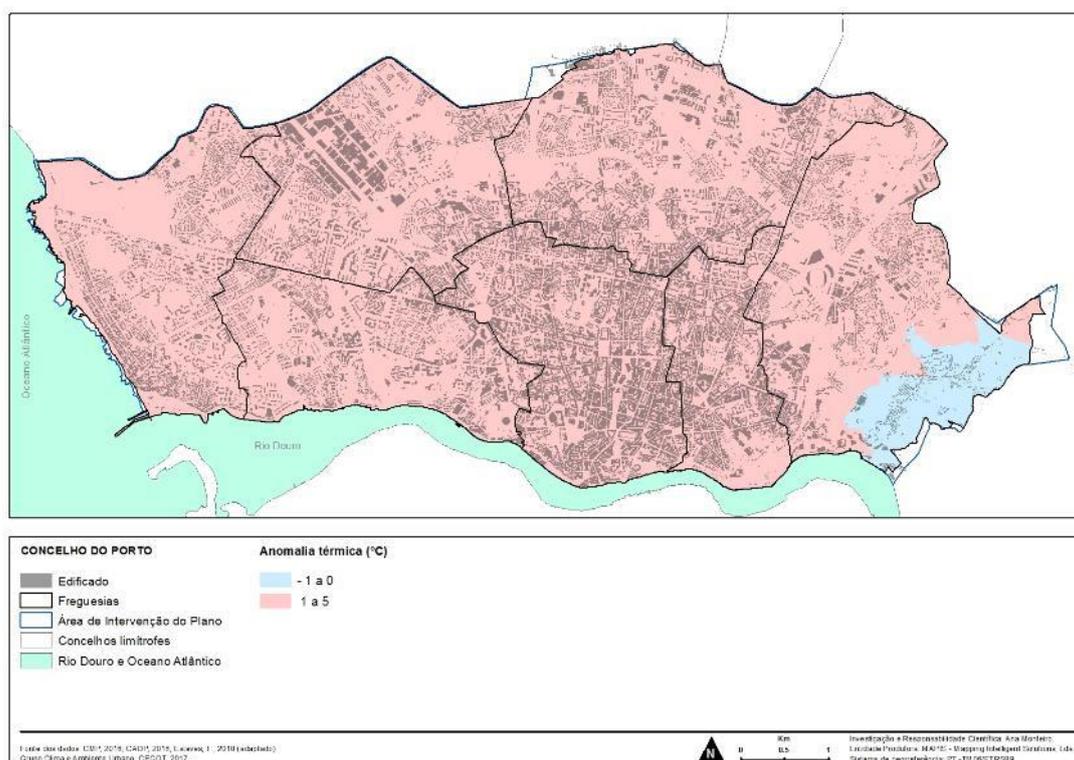
Figura 18 - Carta térmica do dia 06 de janeiro de 2017.



Fonte: Grupo Clima e Ambiente Urbano, CEGOT, 2017.

Em síntese e tendo em conta a leitura combinada dos resultados obtidos nas duas metodologias experimentadas, podemos concluir que é muito provável que ocorra risco de calor extremo no Verão em praticamente toda a cidade e de frio extremo em toda a área oriental e sul da cidade. (Figuras 19 e 20)<sup>8</sup>. Ou seja, a leitura cruzada dos resultados da monitorização itinerante (abaixo do canopy layer) e do canopy layer, ao longo do ano e sob diferentes situações sinóticas, autoriza-nos a afirmar que há áreas de risco elevado de frio no inverno e de calor no verão, o que convém analisar com maior detalhe.

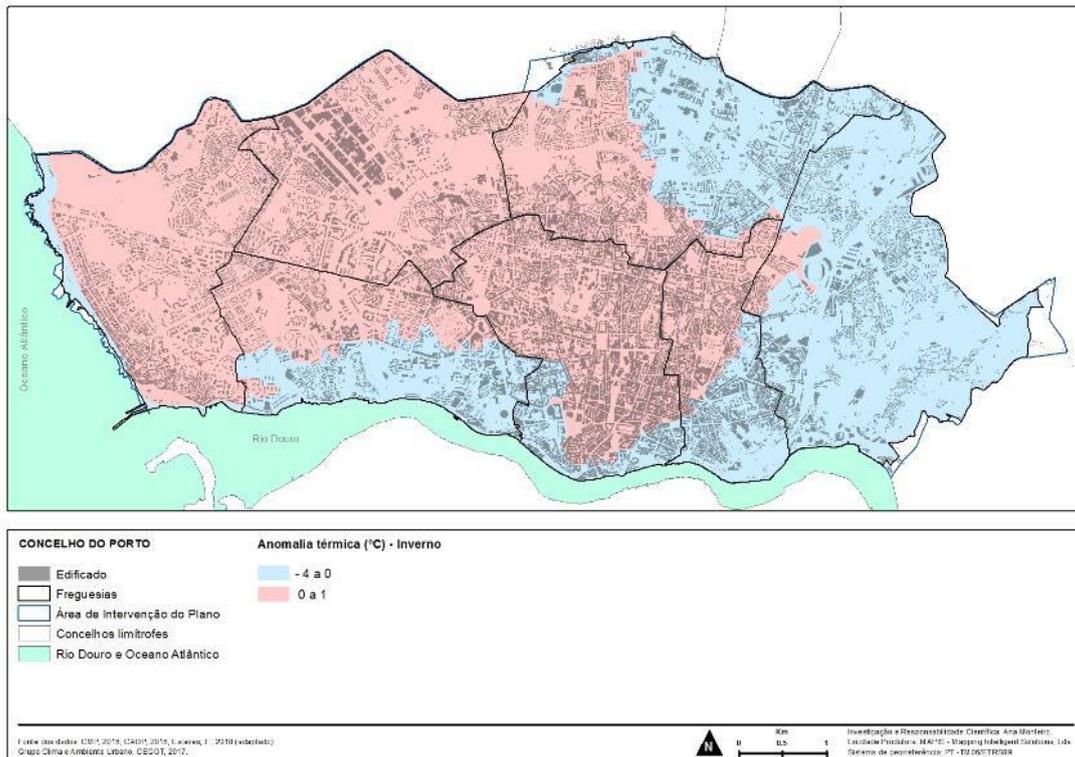
**Figura 19 – Probabilidade de ocorrência de calor extremo no Verão.**



Fonte: Esteves, 2010 (adaptado); Grupo Clima e Ambiente Urbano, CEGOT, 2017.

<sup>8</sup> Adaptada de Esteves, F., 2010, O original considera o valor de anomalia térmica, em °C, associado aos limites das subsecções de 2001. Como a BGRI2011 tem menos subsecções que a BGRI01, quando existem mais que uma subsecção antiga dentro dos novos limites, os critérios considerados foram os seguintes: para as anomalias de verão foi assumido o valor máximo; para as anomalias de inverno foi assumido o valor mínimo;

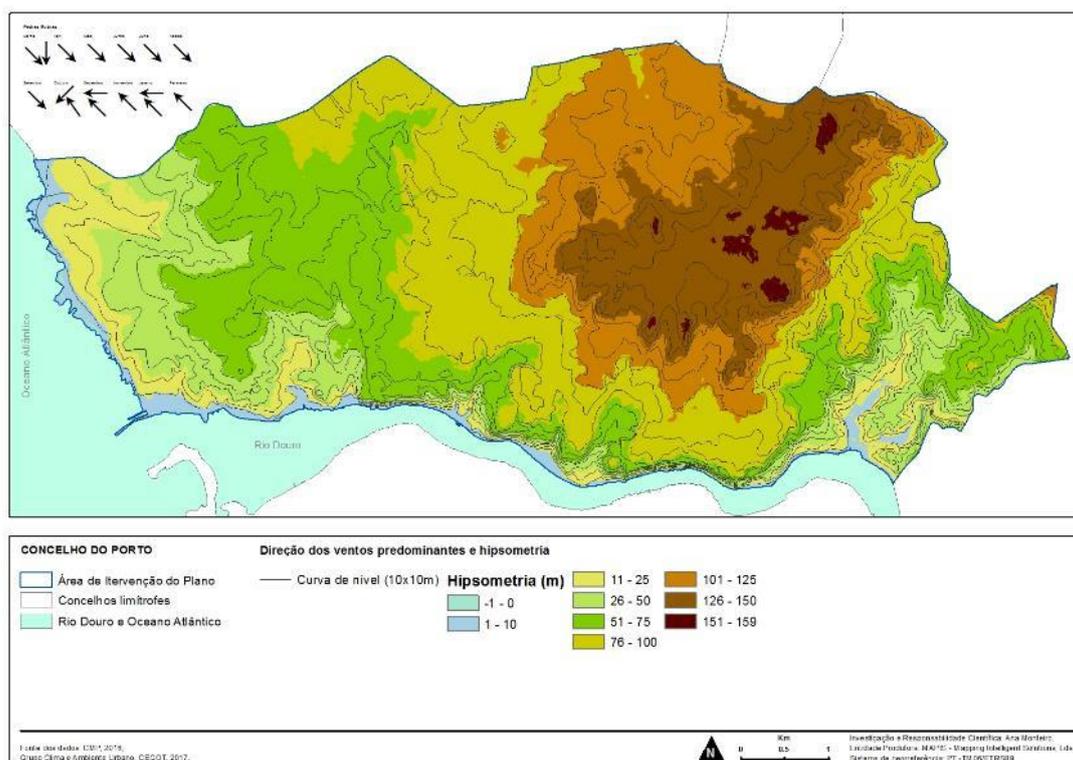
Figura 20 - Probabilidade de ocorrência de frio extremo no Inverno.



### 2.1.5. Ventos predominantes e corredores de ventilação (verão e inverno).

Os rumos predominantes do vento registados em Porto-Pedras Rubras têm sido de NW e N na época mais quente do ano e de NW, NE e SE na época mais fria do ano (Figura 21), e têm soprado com uma velocidade média anual entre 20km/h e 25Km/h (5m/s e 7m/s).

Figura 21 - Direção dos ventos predominantes em cada mês do ano, Porto Pedras Rubras.



Fonte: CMP 2016; Grupo Clima e Ambiente Urbano, CEGOT, 2017.

Esta informação é, contudo, insuficiente para estimar os corredores de ventilação dentro do espaço urbano. Por isso, realizámos uma estimativa do comportamento desta variável que procurou adicionar ao rumo predominante do vento determinado pela situação sinóptica presente, algumas das características específicas do espaço urbano, representadas na informação de base (Anexo 1), que podem promover a travagem ou a aceleração dos fluxos de ar que afetam a cidade do Porto. Para este efeito foi utilizada, tendo em conta o conhecimento dos fatores geográficos deste elemento climático e dos exemplos utilizados na bibliografia sobre este tema, a seguinte fórmula:

$$\text{Declives} * 0.15 + \text{Hipsometria} * 0.10 + \text{Densidade do edificado} * 0.30 + \text{Copa da arvores} * 0.10 + \text{Proximidade ao Mar} * 0.10 + \text{Proximidade ao Rio} * 0.10 + \text{Exposição} * 0.15$$

Cada uma das variáveis consideradas foi previamente classificada em três classes de acordo com o que consideramos serem as condições de elevada, média e baixa facilidade de circulação do ar (Quadro 16).

**Quadro 16 – Critérios de classificação dos fatores de controlo da aceleração dos fluxos de ar.**

	<b>Facilidade de circulação elevada</b>	<b>Facilidade de circulação média</b>	<b>Facilidade de circulação baixa</b>
<b>Declives</b>	0°-2°	3°-4°	>4°
<b>Hipsometria</b>	0m-30m	31m-80m	>80m
<b>Densidade do edificado</b> <sup>9</sup>	Quantil 1	Quantil 2	Quantil 3
<b>Copa das árvores</b> <sup>10</sup>	0m-2m (setembro a fevereiro)	0m-5m (março a agosto) 2m-15m (setembro a fevereiro)	> 5 m (março a agosto) > 15 m (setembro a fevereiro)
<b>Distância ao mar</b>	0m-500m	501m-2000m	> 2000m
<b>Distância ao rio Douro</b>	<50m	51m-100m	> 100m
<b>Exposição de vertentes</b>	N e W (março a agosto) E e S (setembro a fevereiro)		

Fonte: CMP 2016; Grupo Clima e Ambiente Urbano, CEGOT, 2017.

Os resultados obtidos para a época mais quente e mais fria do ano (Figuras 22 e 23) mostram que toda a mancha construída do centro da cidade é, com algumas raras exceções, uma área de baixa circulação do vento. O resto do espaço urbano é pulverizado por inúmeras manchas de forte ventilação.

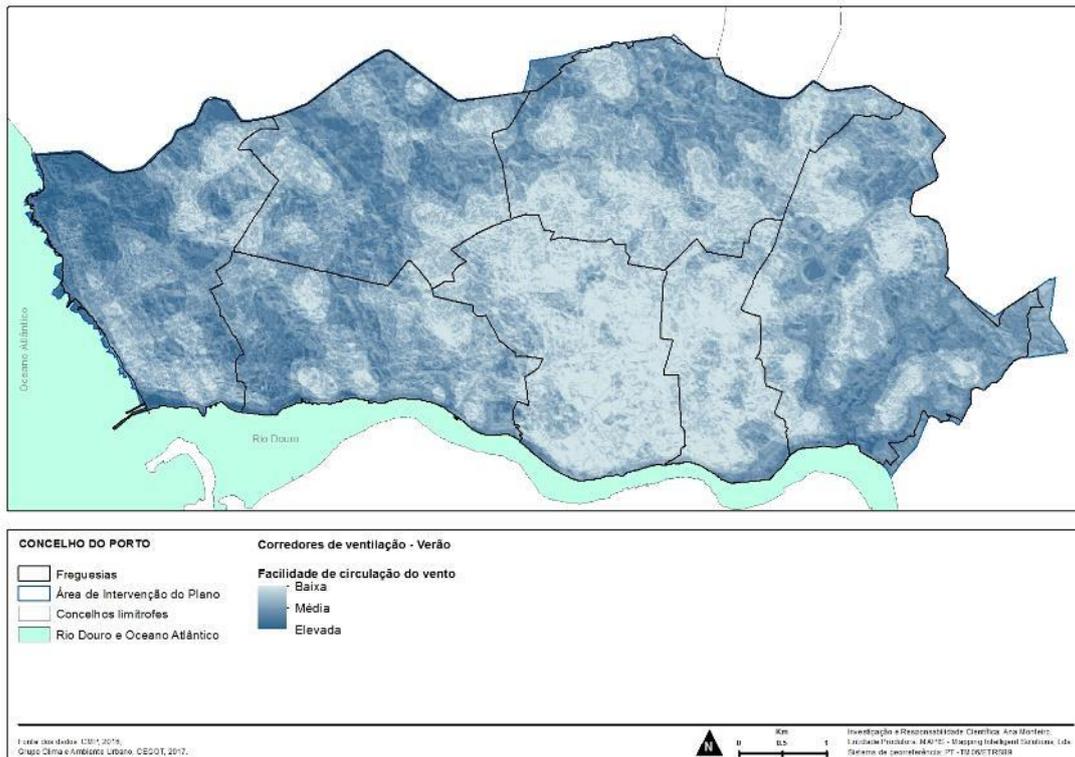
Em síntese, as áreas-problema em qualquer época do ano no que diz respeito à manutenção de anomalias térmicas e de contaminação da atmosfera porque a circulação do ar está muito dificultada e que por isso mesmo precisará de ser analisada com maior detalhe está assinalada na Figura 24<sup>11</sup>.

<sup>9</sup> A densidade de edificado (edifícios por km<sup>2</sup>) foi calculada no SIG utilizando o centroide dos edifícios com o método do “point density”. As três classes foram divididas pelo método “Quantil” considerando que a densidade do edificado é inversamente proporcional à facilidade de circulação do vento.

<sup>10</sup> A copa das árvores foi calculada para o verão considerando as árvores com copa de 0 a 5 m como promotoras de facilidade média de circulação do ar e as árvores com copa superior a 5 metros como promotoras de baixa facilidade de passagem de ar. No inverno, árvores com copa de 0 a 2 metros representam uma elevada facilidade de circulação do ar, as árvores com copa de 2 a 15 metros representam uma facilidade média de circulação do ar e árvores com copa superior a 15 metros representam facilidade baixa de circulação do ar.

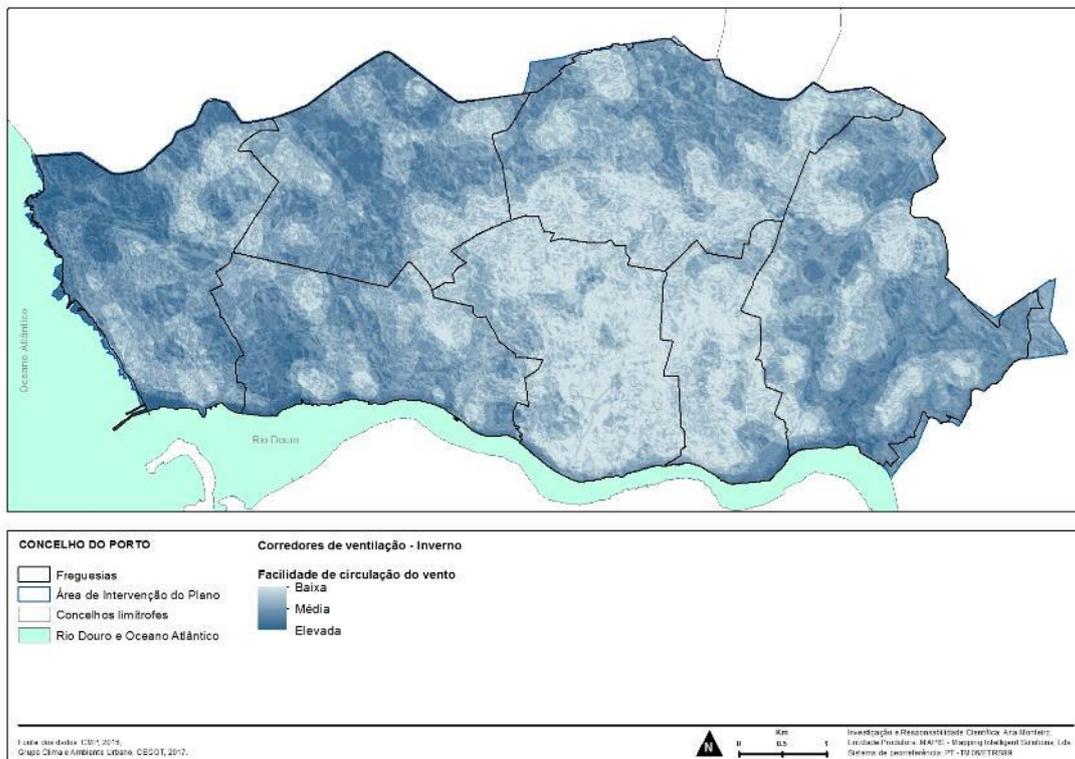
<sup>11</sup> A delimitação das áreas-problema do ponto de vista da ventilação do ar foi definida com recurso ao “Raster calculator” para a aplicação da fórmula:  
(*corredores de ventilação na época quente do ano + corredores de ventilação na época fria do ano*) / 2  
Ao resultado deste processamento foi aplicada uma reclassificação para duas classes, pelo método do “Quantil”. Finalmente, o resultado obtido em formato raster, foi transformado em shapefile para que fosse possível aplicar um procedimento de suavização dos polígonos eliminando todos aqueles cuja área era inferior a 10000 metros quadrados e submetendo o resultado ao “smooth polygon”.

**Figura 22 - Corredores de ventilação na época quente do ano (março a agosto).**

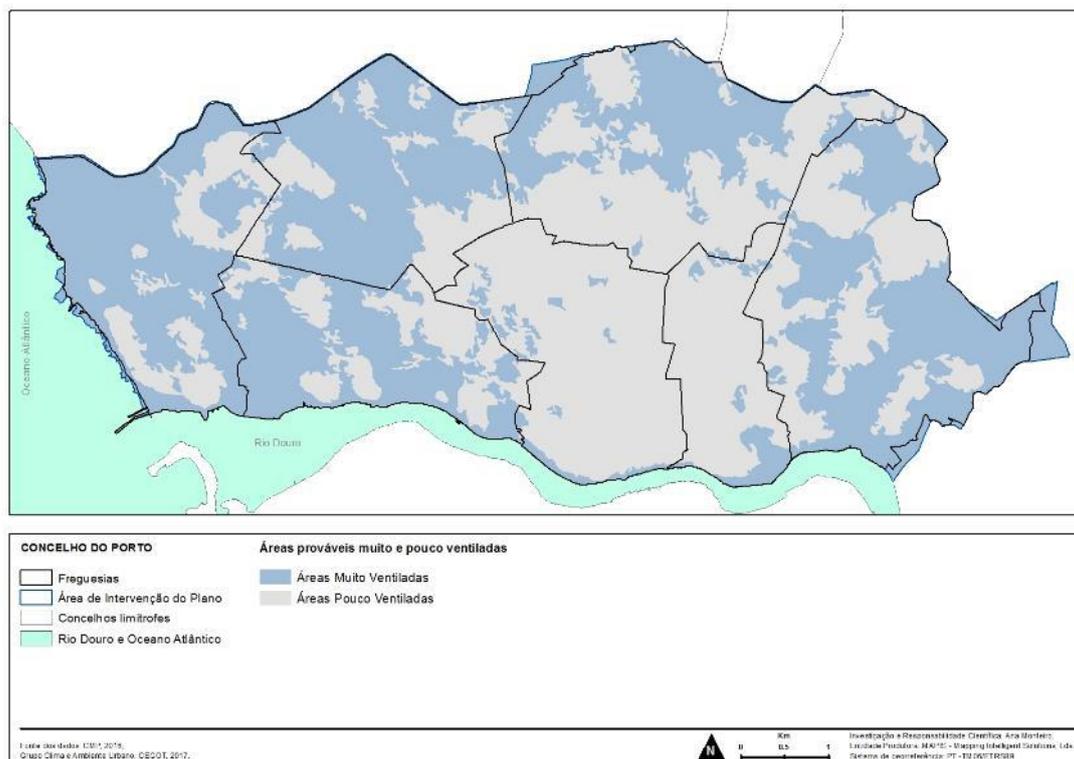


Fonte: CMP 2016; Grupo Clima e Ambiente Urbano, CEGOT, 2017.

**Figura 23 - Corredores de ventilação na época fria do ano (setembro a fevereiro).**



Fonte: CMP 2016; Grupo Clima e Ambiente Urbano, CEGOT, 2017.

**Figura 24 - Probabilidade de ocorrência de aceleração dos fluxos de ar.**


Fonte: CMP 2016; Grupo Clima e Ambiente Urbano, CEGOT, 2017.

## 2.2. Ambiente Urbano.

### 2.2.1. Qualidade do ar.

A qualidade do ar depende das emissões dos poluentes - sendo as principais fontes de poluição os transportes rodoviários, as grandes instalações de combustão, tais como as centrais termoelétricas e outras unidades industriais - e também variabilidade dos fenómenos atmosféricos, que condicionam os processos de transporte, transformação e dispersão dos poluentes na atmosfera (Quadro 17).

São inúmeras as evidências que corroboram a associação entre a poluição do ar atmosférico e os efeitos na saúde humana, essencialmente ao nível do aparelho respiratório e circulatório (Quadro 18). Os efeitos da exposição aos poluentes atmosféricos dependem essencialmente das suas concentrações na atmosfera e do tempo de exposição, para além dos fatores associados aos níveis gerais de saúde da população.

**Quadro 17 - Características físico-químicas e Fontes de alguns poluentes**

<b>Poluentes</b>	<b>Características Físico-químicas</b>	<b>Fontes</b>
<b>CO</b> (monóxido de carbono)	incolor; inodoro	tráfego (especialmente veículos sem catalisador); indústria
<b>NO<sub>2</sub></b> (dióxido de azoto)	castanho claro, quando em baixas concentrações; cria um fluxo de ar castanho desagradável, em altas concentrações.	tráfego; indústria, em geral, dado que é o resultado da queima de combustíveis a temperaturas elevadas.
<b>SO<sub>2</sub></b> (dióxido de enxofre)	incolor; inodoro, em baixas concentrações; odor intenso a enxofre, quando em altas concentrações	indústria (especialmente refinarias, caldeiras de queima de combustíveis com altos teores de enxofre, p.ex. fuelóleo, indústria química e pastas de papel)
<b>O<sub>3</sub></b> (ozono)	incolor, embora seja o principal constituinte do <i>smog</i> fotoquímico (uma névoa formada a alguns metros acima da superfície do solo)	forma-se ao nível do solo como resultado de reações químicas que se estabelecem entre alguns poluentes primários, tais como os óxidos de azoto, os compostos orgânicos voláteis (COV) ou o monóxido de carbono (CO); estas reações dão-se na presença de luz solar, sendo particularmente importantes no verão; os poluentes primários provêm do tráfego, indústria, aterros sanitários, tintas e solventes, florestas (principalmente COV), pequenas fontes (estações de serviço, equipamentos mecânicos de jardinagem).
<b>PM<sub>10</sub></b> (partículas)	material sólido ou pequenas gotículas de fumo, poeiras e vapor de água condensado	tráfego; indústria (cimenteiras, indústria química, refinarias, siderurgias, pastas de papel, extração de madeiras); obras de construção civil; atividades agrícolas (ex. aragem dos solos).

Fonte: Monteiro, 1999a, 1999b.

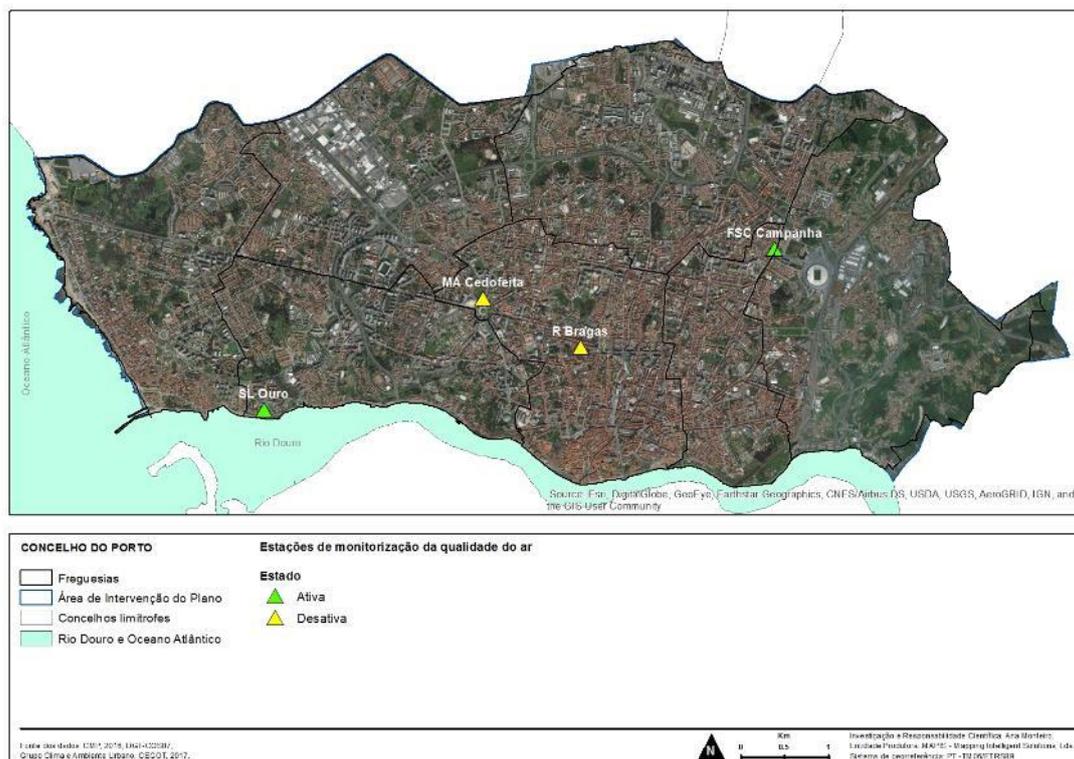
**Quadro 18 - Efeitos potenciais de alguns poluentes na saúde humana.**

<b>Poluente</b>	<b>Efeitos potenciais na saúde humana</b>
<b>CO</b> (monóxido de carbono)	Inibe a capacidade de o sangue trocar oxigénio com os tecidos vitais, podendo em concentrações extremas provocar morte por envenenamento. Afeta principalmente o sistema cardiovascular e o sistema nervoso. Concentrações mais baixas são suscetíveis de gerar problemas cardiovasculares. Concentrações elevadas são suscetíveis de provocar tonturas, dores de cabeça e fadiga.
<b>NO2</b> (dióxido de azoto)	Concentrações elevadas podem provocar problemas do foro respiratório, especialmente em crianças. Doentes com asma podem também sofrer dificuldades respiratórias adicionais. É um poluente acidificante, envolvido em fenómenos como as chuvas ácidas (com pouca expressão no nosso país), as quais acidificam os meios naturais (p.ex. as águas de lagos) e atacam quimicamente algumas estruturas, p.ex. materiais metálicos (corrosão, tecidos vegetais).
<b>SO2</b> (dióxido de enxofre)	Altas concentrações podem provocar problemas no trato respiratório, especialmente em grupos sensíveis como asmáticos. É um poluente acidificante, contribuindo para fenómenos como as chuvas ácidas que têm como consequência a acidificação dos meios naturais (p.ex. lagos) ou a corrosão de materiais metálicos
<b>O3</b> (ozono)	É um poderoso oxidante que pode irritar o trato respiratório, já que o oxida, podendo provocar dificuldades respiratórias (p.ex impossibilidade de respirar fundo, inflamações brônquicas ou tosse). É o principal constituinte do smog fotoquímico associado a sintomas graves particularmente em grupos sensíveis como crianças, doentes cardiovasculares e/ou do foro respiratório e em idosos. É, frequentemente, apontado como o principal responsável por perdas agrícolas e danos na vegetação, existindo espécies particularmente sensíveis ao seu efeito, tal como o <i>Pinus Alepensis</i> .
<b>PM10</b> (partículas)	São um dos principais poluentes em termos de efeitos na saúde humana, particularmente as partículas de menor dimensão que são inaláveis, penetrando no sistema respiratório e danificando-o. Têm-se caracterizado por serem, pretensamente, responsáveis pelo aumento de doenças respiratórias (p.ex o aumento da incidência de bronquite asmática). Podem ser responsáveis pela diminuição da troca gasosa em espécies vegetais, nomeadamente através do bloqueamento de estomas. Podem danificar igualmente o património construído, especialmente as tintas.

Fonte: Monteiro, 1999a,1999b.

Nas últimas décadas existiram no Porto, ainda que com vigências temporais distintas, quatro estações de monitorização da qualidade do ar - FSC Campanhã, SL Ouro, MA Cedofeita e Rua dos Bragas (Figura 25)<sup>12</sup>. São estações urbanas, três de tipo de tráfego, cuja localização leva a que a qualidade do ar seja influenciada principalmente pelas emissões do tráfego rodoviário, e apenas uma, a de SL Ouro, de tipo de fundo, que à partida não é influenciada por uma fonte específica, mas antes pela mistura de emissões de vários tipos de fontes (Quadros 19 e 20 e Figuras 25 a 29).

<sup>12</sup> As estações de monitorização com séries onde existem demasiadas lacunas de dados não foram consideradas.

**Figura 25 - Estações de monitorização da qualidade do ar na cidade do Porto.**


Fonte: QualAr, 2017; CMP 2016; Grupo Clima e Ambiente Urbano, CEGOT, 2017.

**Quadro 19 - Características das quatro estações de qualidade do ar da cidade do Porto.**

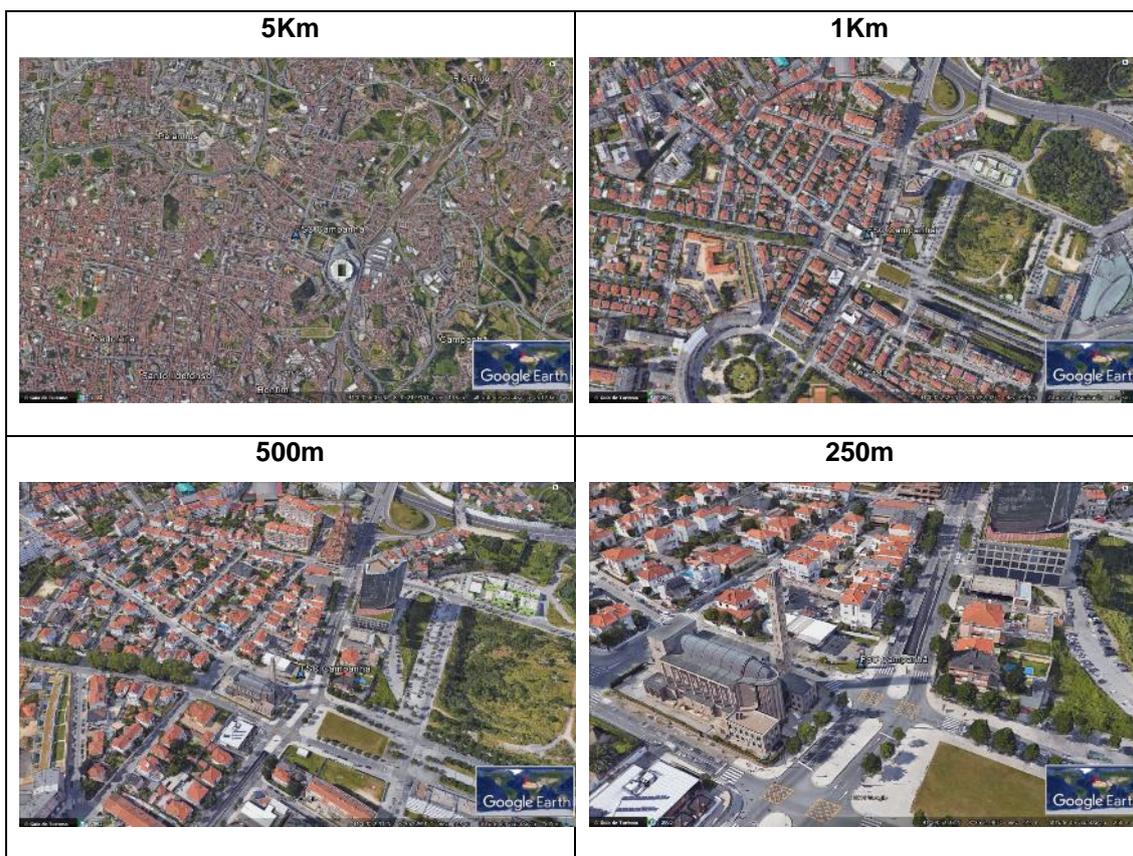
Nome:	FSC Campanhã ativa	SL Ouro ativa	MA Cedofeita inativa	R Bragas inativa	
Código:	1028	1050	1027	1017	
Data de início:	10/1/2000	12/1/2007	9/1/2001	2/14/1992	
Tipo de Ambiente:	Urbana				
Tipo de Influência:	Tráfego	Fundo	Tráfego	Tráfego	
Zona:	Porto Litoral (a)				
Rua:	Praça Francisco Sá Carneiro	Rua Paulo da Gama	Praça Mouzinho de Albuquerque	Rua dos Bragas	
Freguesia:	Campanhã	Foz do Douro	Cedofeita	Cedofeita	
Concelho:	Porto				
Coordenadas Geográficas WGS84	Latitude:	41°09'52"	41°08'51"	41°09'33"	41°09'15"
	Longitude:	-8°35'22"	-8°39'32"	-8°37'45"	-8°36'57"
Altitude (m):	146	17	87	98	
Rede:	Rede de Qualidade do Ar do Norte				
Instituição:	Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte				

Fonte: QualAr, 2017.

**Quadro 20 - Poluentes monitorizados nas quatro estações de qualidade do ar da cidade do Porto.**

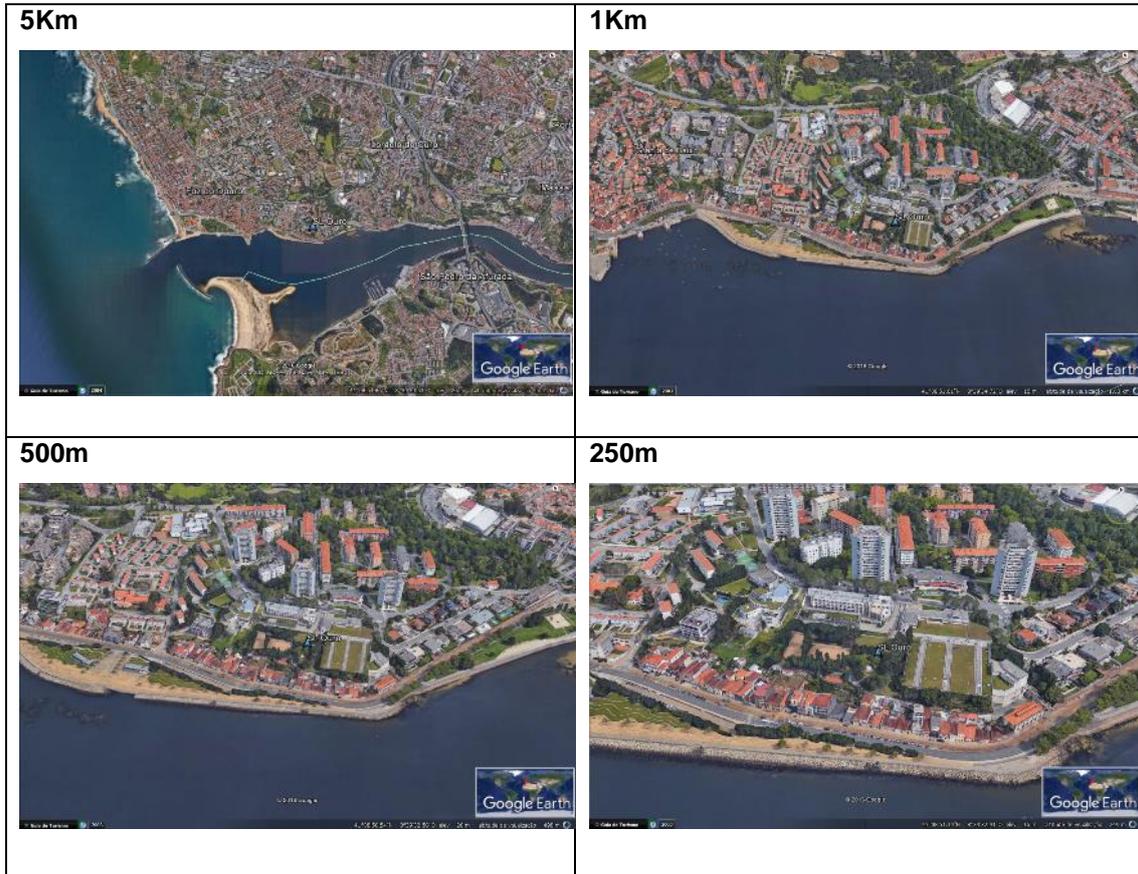
Poluente	Símbolo	FSC Campanhã		SL Ouro		MA Cedofeita		R Bragas	
		Data de início	Data de Fim	Data de início	Data de Fim	Data de início	Data de Fim	Data de início	Data de Fim
Monóxido de Azoto	NO	10/1/2000	-	12/1/2007	-	9/1/2001	6/22/2010	2/14/1992	9/9/2003
Dióxido de Azoto	NO <sub>2</sub>	10/1/2000	-	12/1/2007	-	9/1/2001	6/22/2010	2/14/1992	9/9/2003
Óxidos de Azoto	NO <sub>x</sub>	10/1/2000	-	12/1/2007	-	9/1/2001	6/22/2010	2/14/1992	9/9/2003
Ozono	O <sub>3</sub>	9/19/2000	12/31/2011	12/1/2007	-	9/1/2001	5/31/2006	2/14/1992	9/9/2003
Dióxido de Enxofre	SO <sub>2</sub>	Não monitorizado		12/1/2007	12/31/2011	9/1/2001	6/22/2010	2/14/1992	9/9/2003
Partículas < 10 µm	PM <sub>10</sub>	11/1/2000	-	12/1/2007	-	9/1/2001	6/22/2010	Não monitorizado	
Partículas < 2.5 µm	PM <sub>2.5</sub>	Não monitorizado		9/16/2009	-	Não monitorizado		Não monitorizado	
Monóxido de Carbono	CO	9/19/2000	-	12/1/2007	12/31/2011	9/1/2001	6/22/2010	2/14/1992	9/9/2003

Fonte: QualAr, 2017.

**Figura 26 - Vista aérea da estação FSC Campanhã (localização da estação, via Google Earth, a altitudes de visualização diversas).**


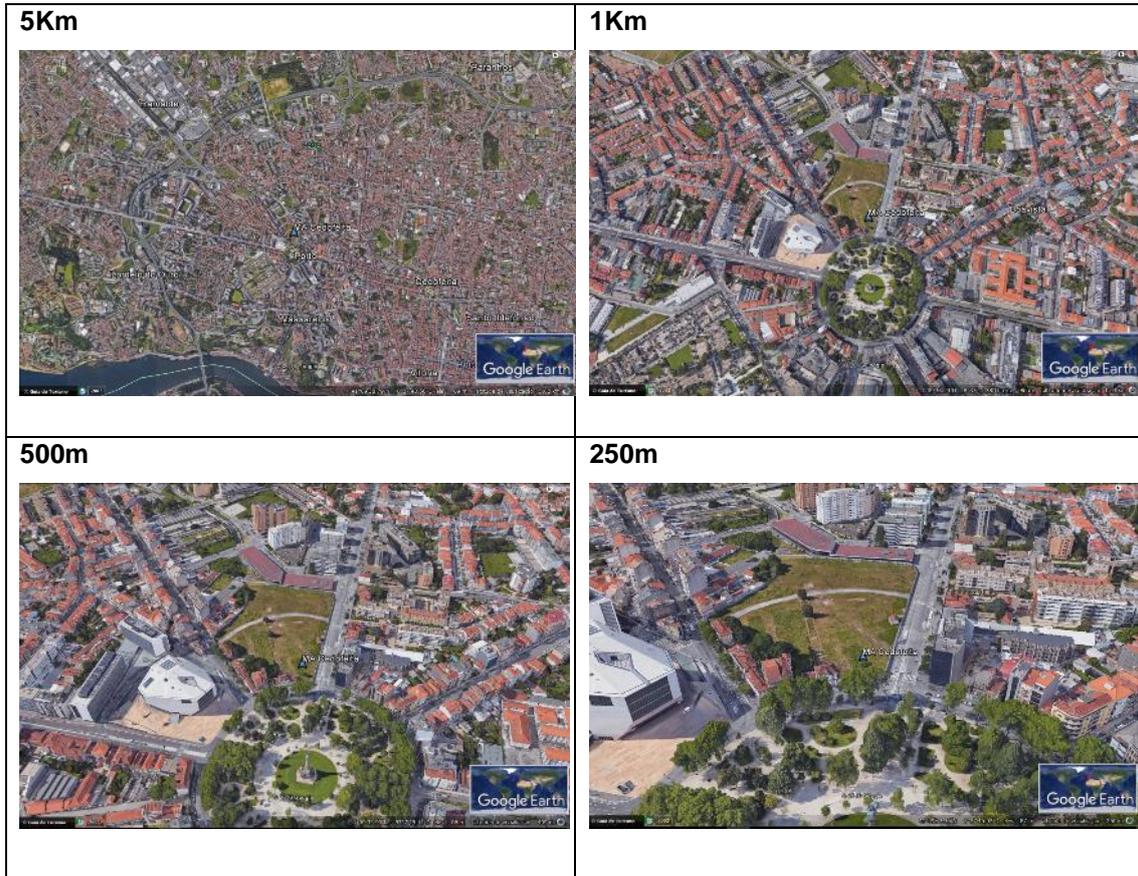
Fonte: QualAr, 2017; Google earth, 2017.

Figura 27 - Vista aérea da estação SL Ouro (localização da estação, via *Google Earth*, a altitudes de visualização diversas).



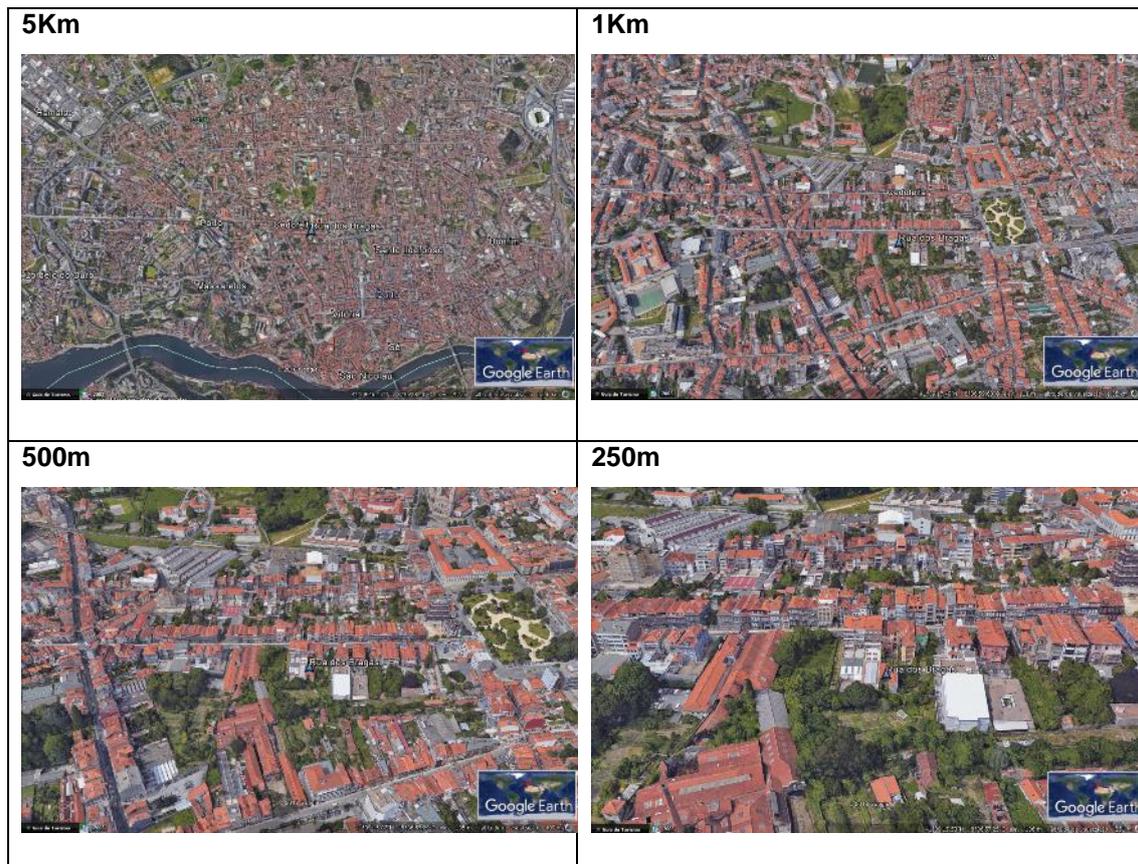
Fonte: QualAr, 2017; Google earth, 2017.

Figura 28 - Vista aérea da estação MA Cedofeita (localização da estação, via *Google Earth*, a altitudes de visualização diversas).



Fonte: QualAr, 2017; Google earth, 2017.

**Figura 29 - Vista aérea da estação Rua dos Bragas (localização da estação, via *Google Earth*, a altitudes de visualização diversas).**



Fonte: QualAr, 2017; Google earth, 2017.

Na atualidade apenas duas destas estações estão em funcionamento: a FSC Campanhã, localizada na Praça Francisco Sá Carneiro e a estação SL Ouro, que se situa junto à ETAR de Sobreiras, em Lordelo do Ouro. E para o ano de 2015, o mais recente disponibilizado pelo QualAr (<http://qualar.apambiente.pt/?page=5>), a única informação de monitorização disponível é para as PM <10 $\mu$ m, NO<sub>2</sub> e CO (Quadro 21 e Gráficos 9 a 11).

**Quadro 21 - Registos de qualidade do ar disponíveis no Porto em 2015.**

2015	Campanhã			Sobreiras -Lordelo do Ouro
	PM<10µm	NO2	CO	PM<10µm
Eficiência anual (base horária)	67.9%	92.5%	87.9%	68.7%
Eficiência anual (base diária)	65.8%	92.6%	87.9%	67.7%
Média (base horária)	18.5	64.6	389.3	17.5
Média (base diária)	18.4	64.5	389	17.6
Máximo (horário)	176	227.4	2407	182
Máximo (diário)	92.6	116.1	1319	75.2

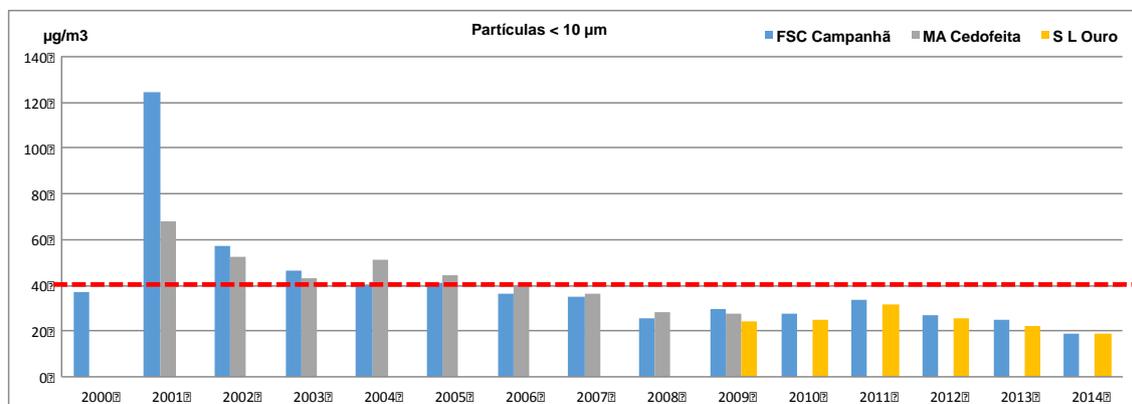
**Valores limite para proteção da saúde humana (DL 102/2010)**
*Diário*

Valor Limite	50 µm g/m3	200 µm g/m3	10 µm g/m3	50 µm g/m3
Excedências permitidas (dias)	35	18	0	35
Ocorridas	2	10	s/d	6

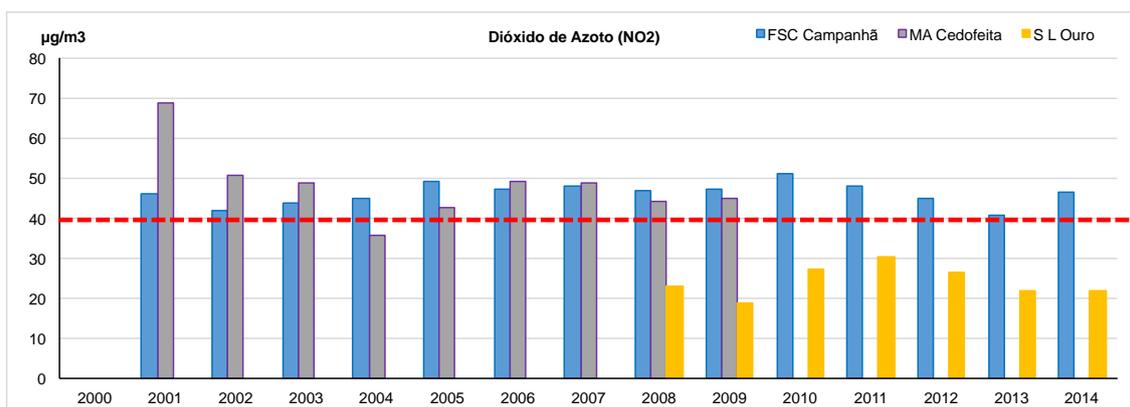
*Anual*

Valor Limite	40	40	s/d	40
Registos	18.4	64.6	s/d	17.6

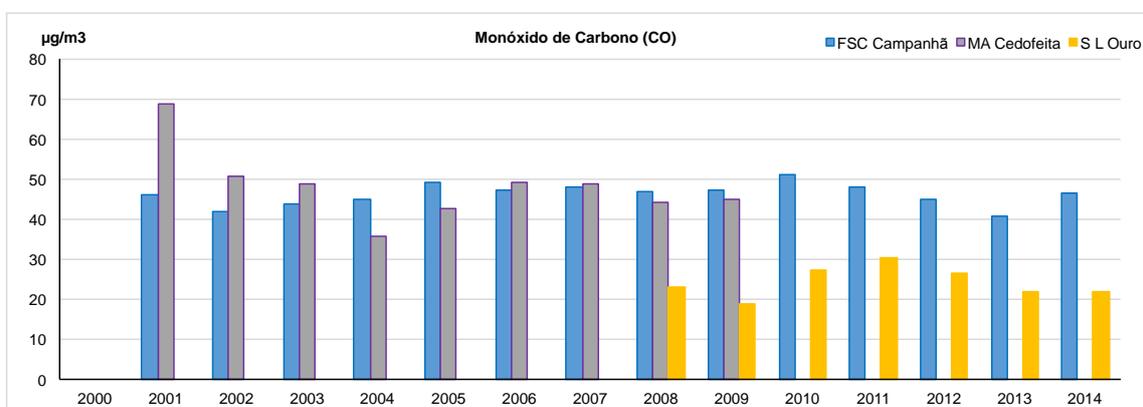
Fonte: QualAr, 2015; Decreto-Lei n.º 102/2010, de 23 de Setembro. DR n.º 186, Série I.

**Gráfico 9 – Concentração de partículas <10 µm no Porto (2000 – 2014).**


Fonte: QualAr, 2015.

**Gráfico 10 - Concentração de dióxido de azoto no Porto (2000 – 2014).**


Fonte: QualAr, 2015.

**Gráfico 11 - Concentração de monóxido de carbono no Porto (2000 – 2014).**


Fonte: QualAr, 2015.

Tendo em conta os limites estabelecidos no Decreto-Lei nº 102/2010 de 23 de Setembro, apenas os valores limite anuais (VL) fixados para o dióxido de azoto (NO<sub>2</sub>) foram ultrapassados em Campanhã (Quadro 21 e Figuras 9 a 11). Nos outros dois poluentes de que há registos, não se verificaram excedências prejudiciais para a saúde humana.

As deficiências da rede de estações, designadamente a fraca cobertura territorial e a inconstância temporal dos registos impossibilitam uma adequada espacialização dos dados relativos à qualidade do ar à escala do concelho do Porto. De facto, as especificidades de cada poluente, quer no que diz respeito às fontes emissoras, aos diferentes tempos de permanência na atmosfera, ou à sua capacidade de dispersão, exigiriam uma rede de estações de monitorização mais fina e precisa.

Ou seja, estes resultados, aparentemente bons, mascaram seguramente a realidade existente no envelope de ar inalado junto ao solo uma vez que tendo em conta toda a informação disponível tanto sobre o *modus vivendi* portuense como sobre as emissões por concelho publicadas no Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas (INERPA) relativas ao ano de 2009 (Quadro 22), parece óbvio que os registos disponíveis subestimam a degradação da qualidade do ar e as consequências potenciais na saúde humana (Quadros 17 e 18).

**Quadro 22 - Emissões poluentes no concelho do Porto (2009).**

2009	Área	SOx	NOx	NH3	NMVOC	PM10	Pb	Cd	Hg	CH4	CO2	N2O
t/km2	41.5	5.1	67.9	1.9	74.1	37.8	0.09	0	0	239	14267	1.7

Fonte: Emissões de Poluentes Atmosféricos por concelho, 2009.

(<https://www.apambiente.pt/zdata/DPAAC/INERPA/Emissoes%20Concelho%2020111109.pdf>)

A título de exemplo, no ‘Plano da Qualidade do Ar da Região Norte – NO2’, Borrego et al. (2011) concluíram que o município do Porto apresenta os maiores valores associados às emissões do sector de combustão industrial e residencial, bem como associado ao sector de outras fontes móveis. O tráfego rodoviário é identificado como um dos sectores mais importantes no que se refere às emissões atmosféricas, sendo também o Porto um dos que regista valores de emissão mais elevados. No concelho do Porto são apontadas maiores emissões na “baixa” da cidade, onde se localiza grande parte do comércio tradicional e serviços, e nas vias que dão acesso à Rotunda da Boavista e à VCI, onde o volume de tráfego é mais elevado.

Vários outros estudos se têm debruçado sobre as emissões (p.e. Barros et al., 2011, Fontes et al., 2007 e Marques et al., 2007). No estudo prévio realizado por Barros et al. (2007) foram estimadas as emissões provenientes de vários tipos de fontes (em área, em linha e pontuais) e foi feita uma modelação da qualidade do ar do Porto pela aplicação de um modelo numérico de prognóstico para o SO<sub>2</sub>, o NO<sub>2</sub> e o CO. Verificou-se que a maioria das emissões de fontes em área de NO<sub>x</sub> e CO são provenientes do sector dos transportes rodoviários, enquanto o SO<sub>x</sub> é fundamentalmente proveniente do sector industrial e de produção de energia. O modelo numérico destacou Ramalde e Paranhos como as freguesias com maior degradação da qualidade do ar relativamente aos poluentes em análise, e também é a relevância para a qualidade do ar da cidade do Porto de algumas das fontes industriais localizadas na sua envolvente geográfica.

A informação sobre o tráfego automóvel seria um complemento relevante tanto para ajudar a esclarecer a representatividade dos registos disponíveis no QualAr como, mais tarde, para a definição das áreas de risco já que, no caso do Porto, o tráfego, devido à sua elevada densidade e aos muitos congestionamentos, é seguramente uma das fontes principais de poluição atmosférica, como se vê nas emissões por sector de atividade (Ferreira et al., 2014), provocando um aumento substantivo das concentrações de NO<sub>x</sub>, CO, COVNM, CO e PM<sub>10</sub>, etc.

No caso do Porto e para além do tráfego que é um importante contributo nas freguesias do centro e nos dois anéis rodoviários da cidade (VCI e Circunvalação), os contributos da atividade industrial circunscrevem-se à freguesia de Ramalde onde está sediada a área empresarial do Porto. As emissões resultantes da atividade comercial e da função residencial são também mais elevadas no centro da cidade.

De acordo com a informação publicada, pela CMP, no *Formulário de inscrição para o Prémio Capital Verde da Europa 2017*, é claro que a degradação da qualidade do ar é um problema que carece de maior atenção tanto ao nível do diagnóstico como da mitigação.

Ao nível do diagnóstico seria útil adequar a monitorização dos poluentes à realidade vivida pelos seres humanos distribuindo pela cidade mais pontos de registo fixos e itinerantes que evidenciassem concretamente a qualidade do ar abaixo do nível dos telhados a diferentes horas do dia e dias da semana.

Ao nível da mitigação, a CMP, estabeleceu um plano de ação para diminuir sobretudo as emissões do tráfego automóvel e que passa por: i) Incentivar o uso de transporte público (autocarro, comboio e metro); ii) a criação de zona de emissões reduzida “ZER” no anel delimitado pela Via de Cintura Interna e rio Douro; iii) potenciar o aumento do número de veículos híbridos ou elétricos da frota municipal em 70% até 2017; iv) intensificar a parceria com Universidade do Porto para a instalação de sensores ambientais, em várias ruas da zona central da cidade; v) promover ensaios de autocontrolo e despistagem das emissões gasosas do forno crematório municipal; vi) disponibilizar informação à população, em tempo útil; vii) criar e divulgar um programa de cálculo da pegada carbónica.

Para a elaboração do mapa de risco potencial de degradação do ar, foram considerados os seguintes quatro critérios.

O primeiro passou por atribuir um nível de risco de degradação qualidade do ar às freguesias (divisão administrativa antiga) da cidade do Porto baseada nos vários estudos pré-existentes, nomeadamente, de membros desta equipa (Monteiro, 1999a; Monteiro, 2000; Borrego, 2011; Borrego, 2016). Estes estudos, socorrendo-se de monitorizações pontuais de contaminação do ar diretas e indirectas e de estimativas de emissões atmosféricas tendo em conta os usos do solo e as funções urbanas, assim como a concentração e fluidez do tráfego, a morfologia e o contexto microclimático urbano, concluíram que no Porto existem três tipos de áreas no que diz respeito à contaminação atmosférica – as de fraca, média e elevada concentração de poluentes. Às freguesias da Foz do Douro e Nevogilde foi atribuído o nível baixo de degradação do ar. As freguesias de Aldoar, Campanhã, Lordelo do Ouro, Massarelo, Miragaia, Paranhos, Santo Ildefonso e Vitória, foram consideradas como áreas de risco médio de degradação do ar. Já as freguesias de São Nicolau, Sé, Bonfim e Cedofeita e Ramalde foi atribuído o risco elevado de degradação do ar.

O segundo critério, passou por criar duas áreas de influência (*buffers*) de 100 e de 200 metros em volta dos dois principais corredores de circulação automóvel da cidade do Porto, a VCI e a Circunvalação. A estas duas áreas foram atribuídos dois níveis de risco de qualidade do ar, risco elevado, na área 100 metros em redor dos eixos rodoviários e risco médio na área compreendida entre os 100 e os 200 metros.

O terceiro critério passou por gerar duas áreas de influência (*buffers*) de 0 a 100 e de 100 a 200 metros em volta das áreas industriais, comerciais e de transportes representadas na COS



Paiva, S.A. Com uma capacidade total de armazenamento de 125.450 m<sup>3</sup>, que corresponde a uma reserva de mais de dois dias de consumo, a rede de abastecimento de água tem uma extensão de cerca de 760 km, possuindo aproximadamente de 67.400 ramais domiciliários. Atualmente vigora a distribuição gravítica de água em praticamente toda a cidade, ou seja, sem que haja necessidade de recurso a estações elevatórias. Ainda de acordo com as Águas do Porto, EP, as análises efetuadas à rede de distribuição domiciliária garantem que o Porto apresenta em 99,7% dos casos água de excelente qualidade (<http://www.aguasdoporto.pt>).

O sistema de drenagem de águas residuais domésticas da cidade do Porto é separativo, ou seja, é independente do das águas pluviais. A rede de recolha e drenagem das águas residuais é do tipo de escoamento em superfície livre (gravítico) e está apoiado nas Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) do Freixo e de Sobreiras, sendo o efluente final, ainda de acordo com as Águas do Porto, lançado no rio Douro em conformidade com as normas nacionais e europeias. Por seu turno, o sistema de drenagem de águas pluviais apoia-se em aquedutos e algumas ribeiras, que convergem para a frente ribeirinha e frente marítima (Águas do Porto, 2015).

A Águas do Porto, EP é também responsável pela gestão das massas de água, nomeadamente 16 linhas de água (rios e ribeiras) com uma extensão total de 66 km e 4 zonas balneares com uma extensão aproximada de 4 km (<http://www.aguasdoporto.pt>).

O concelho do Porto está parcialmente inserido na bacia hidrográfica do rio Leça e do rio Douro, sendo que o rio Douro, principal linha de água do Porto, drena a maior parte do território da cidade do Porto. Apesar da estrutura topográfica das bacias hidrográficas se manter inalterada, estas encontram-se fortemente impermeabilizadas e com as suas linhas de água maioritariamente canalizadas (Figura 31 e 32 e Quadro 23).

A rede hidrográfica do Porto tem, portanto, uma elevada densidade de cursos de água, mas na maioria dos casos canalizados artificialmente em grande parte do seu trajeto. Há trechos que afloram muito pontualmente à superfície como acontece, por exemplo, com as ribeiras de Massarelos, de Vilar, o rio da Vila, a Ribeira do Poço das Patas, o rio Frio, as ribeiras da Granja, de Aldoar e de Ervilheira, da Asprela, de Cartes, de Lomba e de Vila Meã. Os rios Torto e Tinto, localizados na zona oriental da cidade, são os únicos que mantêm o seu leito a céu aberto (Figura 31 e Quadro 23).

Isto traduz-se em impactes vários, como por exemplo, a alteração dos regimes hidráulicos e prevalência de áreas com coeficientes de escoamento elevados (Figura 33), assim como uma generalizada desqualificação paisagística e ecológica das ribeiras.

Para além desta densa rede hidrográfica, as fontes, fontanários e bebedouros são também mosaicos e pontos de água muito importantes para a qualidade do ambiente urbano (Figura 34). A fonte dos Leões, a Fonte Monumental Mouzinho da Silveira, a Fonte da Cantareira, o Chafariz do Passeio Alegre, o Chafariz da Trindade e a Fonte da Praça da Ribeira são alguns exemplos das fontes mais emblemáticas da cidade. A cidade do Porto tem também vários bebedouros nos principais circuitos pedonais e clicáveis.

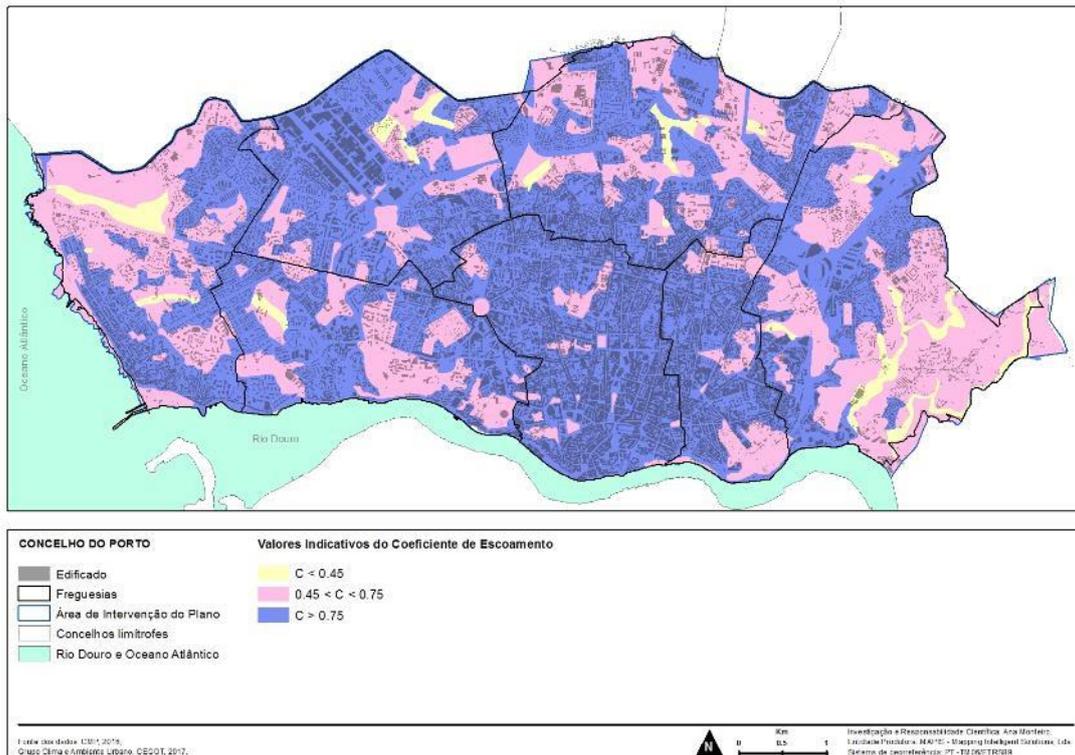


**Quadro 23 – Características dos cursos de água no Porto.**

Ribeira/Rio	Descrição	Extensão (Km)	Bacia Hidrográfica (Km <sup>2</sup> )	Percentagem de entubamento
Aldoar	Maior linha de água da orla costeira, na área ocidental da cidade. Os seus afluentes nascem na freguesia de Aldoar e Ramalde, desaguando junto do Castelo do Queijo.	8,36	4,03	93%
Amores	Nasce na freguesia de Paranhos e segue em direção ao concelho da Maia. É afluente do Rio Leça	0,79*	0,55*	100%
Asprela	Afluente do Rio Leça. tem vários afluentes que nascem no concelho do Porto, na freguesia de Paranhos	4,89*	3,42*	83%
Cartes	Afluente do Rio Tinto, na freguesia de Campanhã	4,39*	2,02*	98%
Currais	Afluente do Rio Tinto e localiza-se nas freguesias de Campanhã e Paranhos. Tem, no Porto, uma extensão de 789 m. Esta linha de água apresenta apenas 17% a céu aberto.	0,78*	0,63*	83%
Ervilheira	Nasce e desagua na freguesia de Nevogilde.	1,0	0,75	65%
Granja	Pertence a uma das maiores bacias hidrográficas do Porto. Apresenta vários afluentes que abrangem as freguesias de Paranhos, Ramalde e Lordelo do Ouro.	14,4*	9,96*	79%
Lomba	Afluente da margem esquerda do Rio Tinto, nasce na freguesia de Campanhã e desagua junto da rotunda do Freixo.	2,5	-	77%
Nevogilde	Nasce na freguesia de Nevogilde e desagua no oceano atlântico a sul da Estação de Zoologia Marítima Dr. Augusto Nobre.	0,91	0,45	33,5%
Massarelos	Percorre as freguesias de Cedofeita e de Massarelos e desagua no Rio Douro próximo da Rua D. Pedro V. Tem uma extensão de 3,94 km e uma bacia hidrográfica de cerca de 2,2 km <sup>2</sup> .	3,94	2,2	98%
Poço das Patas	Atravessa a freguesia de Bonfim e desagua no rio Douro na avenida Gustavo Eiffel	6,56	1,89	100%
Frio	Nasce na freguesia de Cedofeita e atravessa as freguesias da Vitória, Miragaia e Massarelos.	1,39	-	100%
Vila	Nasce na freguesia de Santo Ildefonso e atravessa as freguesias da Sé e S. Nicolau desaguando no Rio Douro na Praça da Ribeira.	7,69	-	100%
Tinto	Afluente da margem direita do Rio Douro e tem como principais afluentes as ribeiras de Cartes, Currais, Vila Meã e Lomba.	3,84*	7,5*	7%
Torto	Afluente da margem direita do Rio Douro, nasce no concelho de Gondomar e desagua no rio Douro.	3,2*	1,1*	0%
Vila Meã	Afluente da margem direita do rio Tinto. Tem uma extensão de aproximadamente 2,2 km.	2,2	-	100%
Vilar	Nasce na freguesia de Massarelos e desagua no Rio Douro junto do Museu do Carro Elétrico.	0,95	0,14	95%

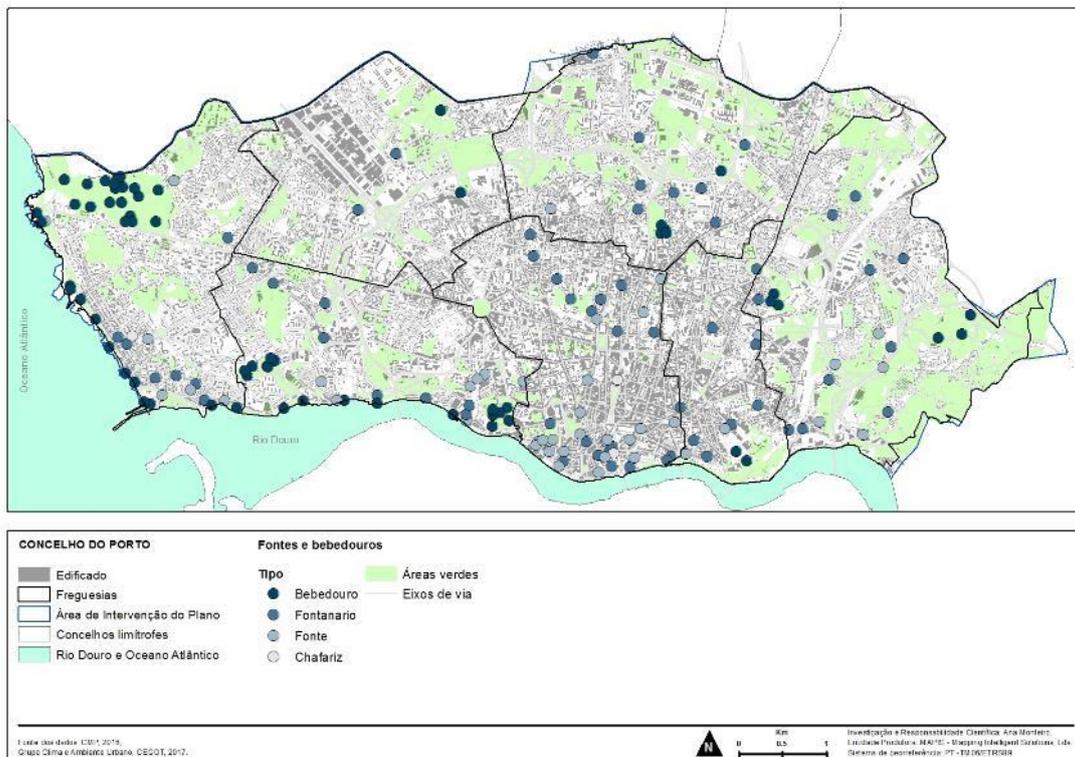
Fonte: Águas do Porto, 2015.

Figura 33 - Coeficiente de escoamento.



Fonte: CMP, 2016.

Figura 34 - Fontes e bebedouros.



Fonte: CMP, 2016.

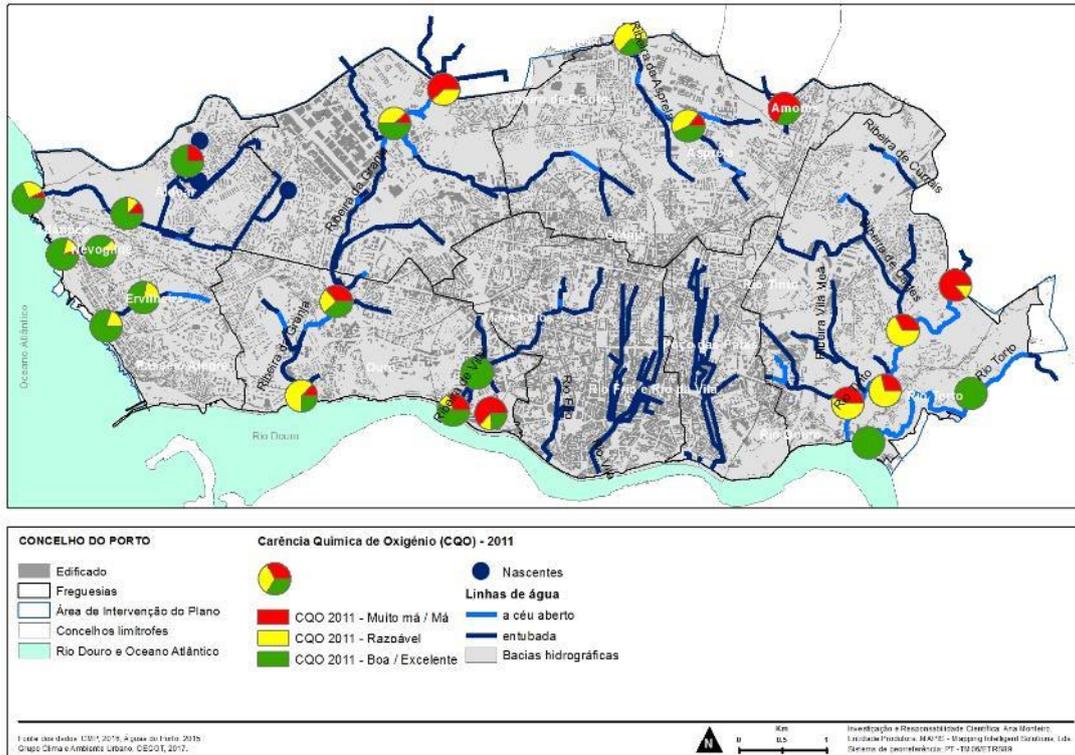
A degradação das massas de água tem vindo a ser uma constante na história recente do Porto. A título de exemplo, refira-se o estudo de Vieira (2009), que procedeu à avaliação da qualidade da água superficial das bacias hidrográficas das ribeiras de Aldoar, Nevogilde, Ervilheira, Asprela e do rio Tinto através de 27 pontos de amostragem. Concluiu-se então que a maioria dos pontos de amostragem excediam os valores impostos pela legislação em vigor do ponto de vista bacteriológico e químico (nitratos, nitritos, fosfatos e amónio), sendo a contaminação sobretudo associada às descargas de efluentes não tratados com origem doméstica e/ou industrial.

O documento contributo da Águas do Porto para a 2.<sup>a</sup> revisão do Plano Diretor Municipal do Porto (Águas do Porto, 2015) apresenta uma consolidação dos resultados da monitorização da qualidade da água nas linhas de água do Porto. Sintetiza-se a evolução da classificação qualidade da água entre 2011 e 2014 para dois parâmetros - Carência Química de Oxigénio (CQO em mg/L O<sub>2</sub>) e Coliformes Fecais (NMP/100 mL) - aplicando os valores limite estabelecidos à data pelo INAG, em vários pontos de amostragem nos principais cursos de água - Aldoar, Amores Asprela, Ervilheira, Granja, Nevogilde, Massarelos, Tinto, Torto e Vilar.

Neste âmbito, a para facilitar a abordagem territorial, estes dados foram representados cartograficamente para os anos de 2011 e 2014, tendo-se agrupado os valores percentuais das classificações da qualidade da água em três classes: excelente/boa; razoável; má/muito má (Figuras 35, 36, 37 e 38).

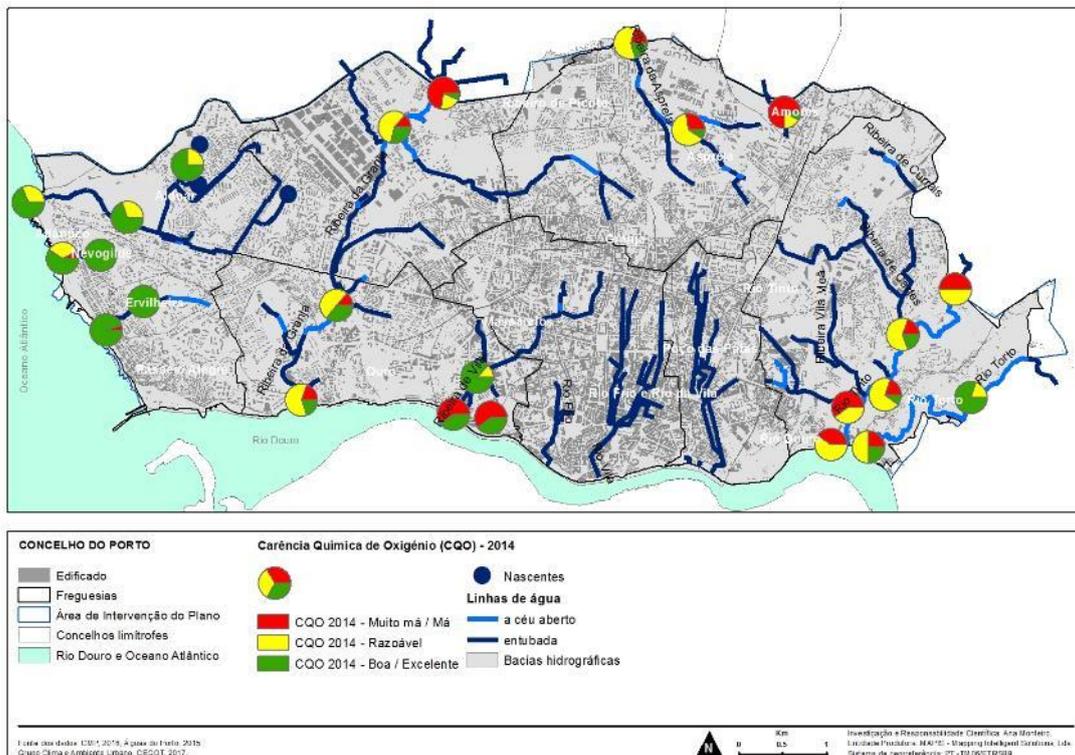
A classificação da qualidade da água com base no parâmetro Carência Química de Oxigénio (CQO) evidencia contextos bem diferenciados. Nas ribeiras da área ocidental do concelho, de Aldoar, Nevogilde e Ervilheira, predominam classificações de boa/excelente qualidade da água. Nas restantes ribeiras são dominantes as classificações de razoável, sendo contudo de destacar a preponderância de classificações de má/muito má qualidade da água de alguns pontos de amostragem das ribeiras da Granja, Asprela, Vilar e Massarelos (Figuras 35 e 36).

Figura 35 - Classificação da qualidade da água - Carência Química de Oxigénio (CQO), 2011.



Fonte: CMP, 2016; Águas do Porto, 2015; Grupo Clima e Ambiente Urbano, CEGOT, 2017.

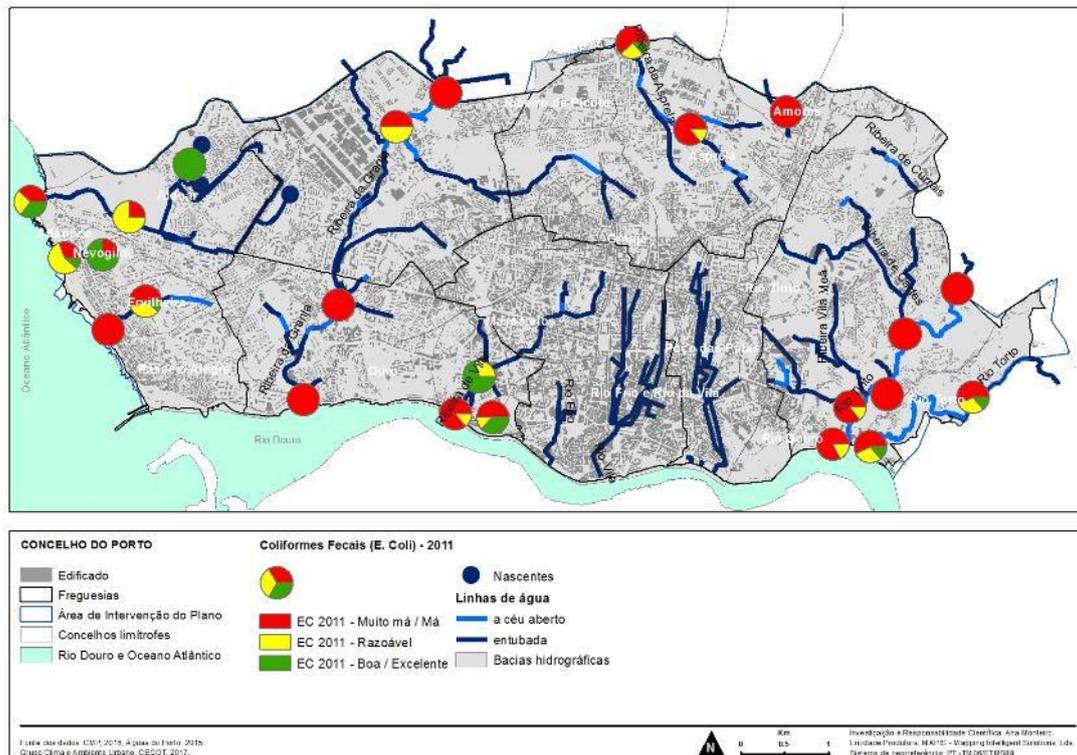
Figura 36 - Classificação da qualidade da água - Carência Química de Oxigénio (CQO), 2014.



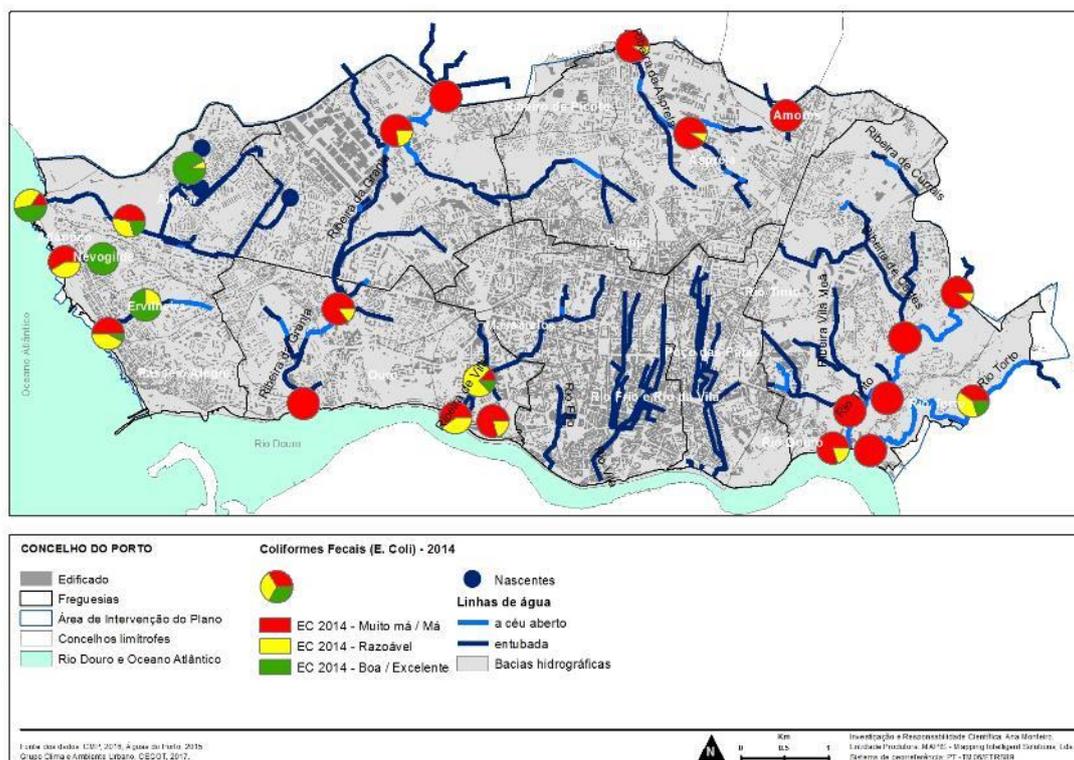
Fonte: CMP, 2016; Águas do Porto, 2015; Grupo Clima e Ambiente Urbano, CEGOT, 2017.

Relativamente ao parâmetro Coliformes Fecais (E. Coli) verificamos, e para os dois anos em análise, que a maior parte dos pontos de amostragem revela má ou muito má qualidade, situação que é particularmente gravosa no rio Tinto e nas ribeiras da Asprela e da Granja. Por seu turno, as ribeiras na área ocidental da cidade, designadamente de Aldoar, Nevogilde e Ervilheira, revelam uma maior incidência de classificações de razoável ou boa/muito boa (Figuras 37 e 38).

**Figura 37 - Classificação da qualidade da água - Coliformes Fecais (E.Coli), 2011.**



Fonte: CMP, 2016; Águas do Porto, 2015; Grupo Clima e Ambiente Urbano, CEGOT, 2017.

**Figura 38 - Classificação da qualidade da água - Coliformes Fecais (E.Coli), 2014.**


Fonte: CMP, 2016; Águas do Porto, 2015; Grupo Clima e Ambiente Urbano, CEGOT, 2017.

A qualidade da água superficial num determinado ponto de observação depende do contexto envolvente e de tudo o que ocorre a montante na bacia hidrográfica a que esse fluxo de água pertence.

Em ambiente urbano, como é o caso em análise, as causas de contaminação podem ter origens de índole muito diversa: drenagem de efluentes líquidos poluentes; contaminação das águas subterrâneas decorrentes da contaminação dos solos; deposição direta de elementos existentes na baixa atmosfera, etc.. Assim, para compreender o valor dos parâmetros habitualmente utilizados para caraterizar a qualidade da água, é necessário conhecer a rede hidrográfica superficial e subterrânea (Figuras 31 e Quadro 23), o ambiente hidrogeológico (Figura 32) em que ocorre o escoamento (Figura 33) e os usos do solo em toda a bacia hidrográfica (Figuras 39 e 40).

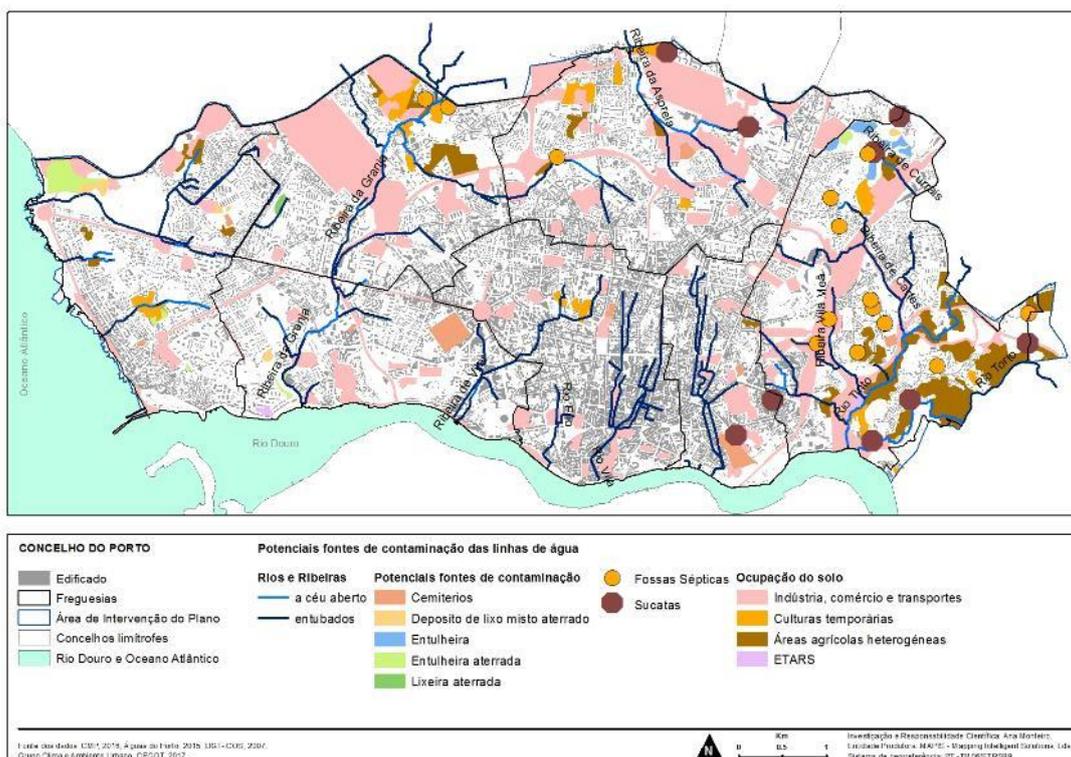
Na tentativa de obtermos uma representação espacial das linhas de água potencialmente contaminadas, seleccionámos as linhas de água de traçado natural, traçado natural a céu aberto, trecho canalizado e trecho canalizado provável, e todo o seu curso jusante, que estivessem a uma distância de pelo menos 100 metros das seguintes variáveis consideradas potencialmente contaminadoras: uso de solo predominantemente afeto à atividade agrícola, à indústria, ao comércio, cemitérios, ETARs, lixeiras aterradas, entulheiras, entulheiras aterradas e depósitos de lixo misto aterrado.

A Figura 40 mostra as linhas de água potencialmente contaminadas e não contaminadas em associação com os fatores considerados potencialmente contaminadores. Verifica-se que uma

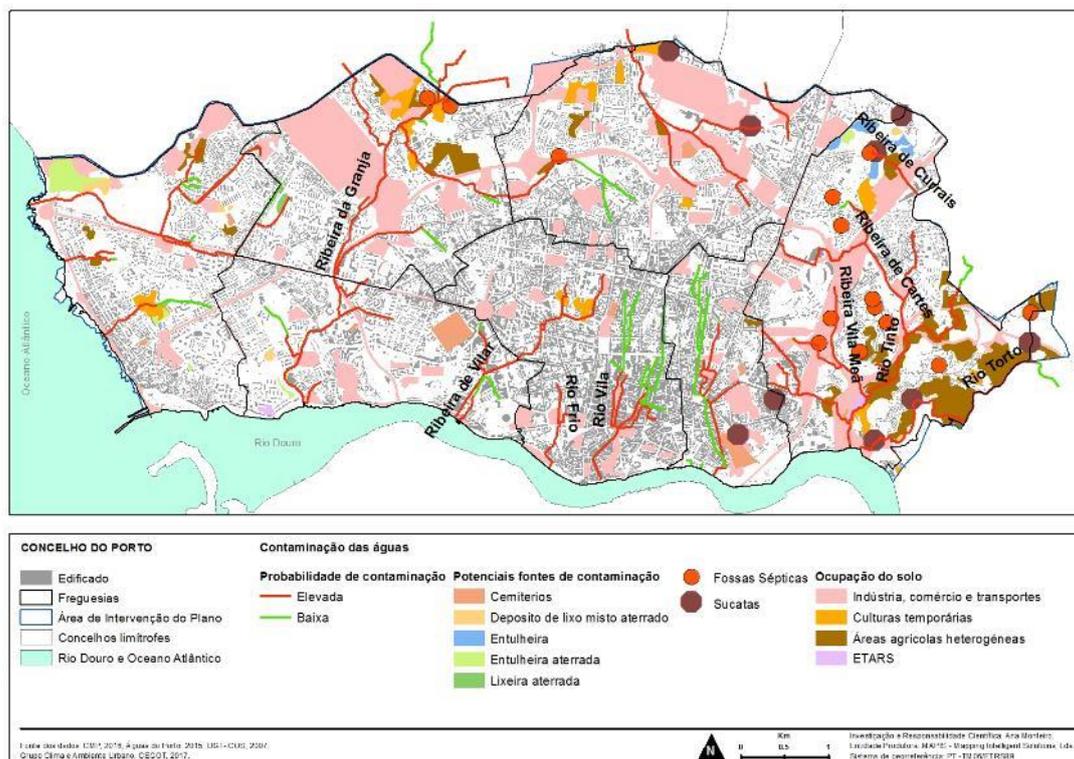
parte considerável das linhas de água estará potencialmente contaminada, seja, por exemplo, no caso da ribeira da Granja, por proximidade com a área empresarial do Porto, ou no caso dos Rios Tinto e Torto, por proximidade a áreas de atividade agrícola.

Os rios urbanos têm vindo a ser ‘redescobertos’, num movimento que congrega as esferas políticas e científicas, e também o crescente interesse dos cidadãos, levando à multiplicação de projetos para o restauro e a requalificação dos cursos de água urbanos. Após longas décadas de abandono que imprimiram profundas e por vezes inultrapassáveis marcas territoriais, os rios urbanos são crescentemente vistos como espaços de oportunidade ambiental, económica, social, recreativa, cultural e identitária. Também no Porto, e sob coordenação das Águas do Porto, se tem vindo a iniciar um processo de reabilitação das linhas de água, tendo por objetivo a melhoria da qualidade da água através da eliminação dos principais focos de poluição e também o desenvolvimento de projetos de requalificação das ribeiras da cidade. Refiram-se, a título de exemplo os projetos de intervenção nas ribeiras da Granja e da Asprela.

**Figura 39 - Traçado de cursos de água, fontes de contaminação.**



Fonte: CMP, 2016; Águas do Porto, 2015; COS N2, 2007

**Figura 40 – Probabilidade de contaminação das águas.**


Fonte: CMP, 2016; Águas do Porto, 2015; Grupo Clima e Ambiente Urbano, CEGOT, 2017.

### 2.2.3. Qualidade do solo.

A qualidade do solo no Porto é um atributo de difícil avaliação porque cerca de 75%<sup>13</sup> da área urbana está impermeabilizada (Figuras 41 e 42).

<sup>13</sup> O valor percentual da impermeabilização do solo foi calculado pela razão existente entre a área impermeabilizada, disponibilizada pela CMP na *shapefile* AEDIFICADAS\_PL, e a área total.

Figura 41 - Carta de ocupação do solo de 2007.

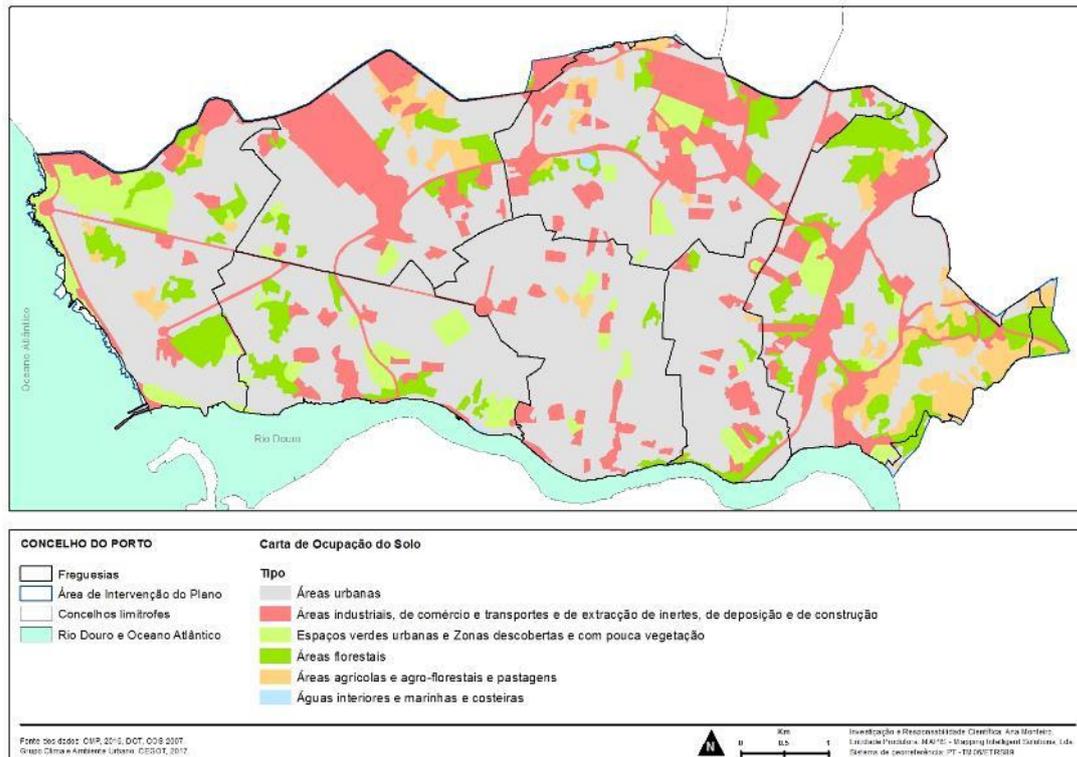
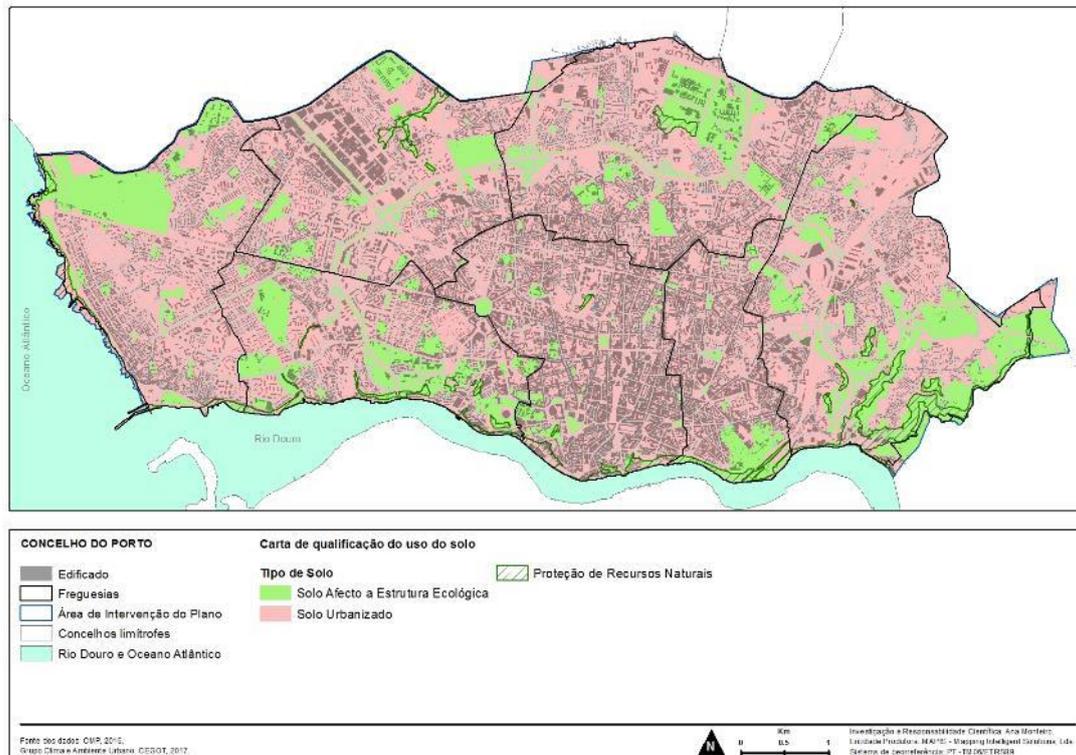


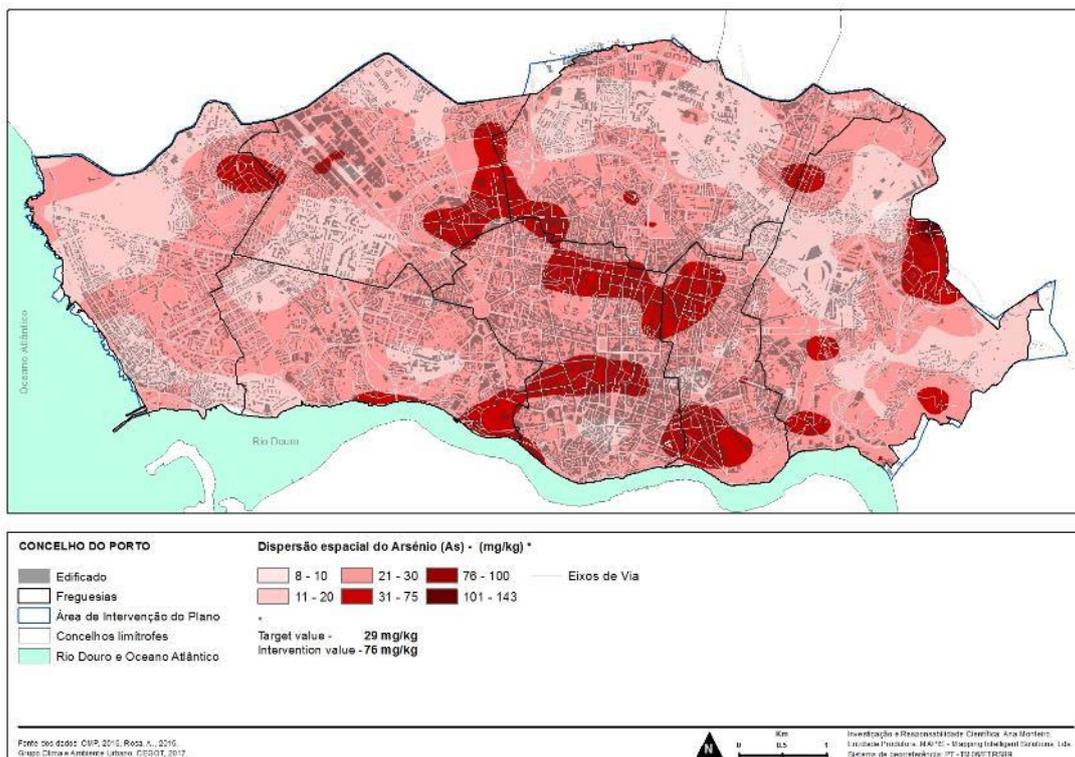
Figura 42 - Carta de qualificação do uso do solo.



Um estudo recente, analisou a dispersão espacial de alguns metais pesados nos solos da cidade do Porto (Rosa, 2016), caracterizando, entre outros a concentração de Arsénio (As), Chumbo (Pb), Zinco (Zn), Cobre (Cu), Molibdénio (Mo), à superfície (Figuras 43 a 47) e confirmando estudos anteriores (Monteiro, 1997), indicou possíveis implicações da exposição humana a elevadas concentrações, e apresentando as principais fontes dos metais pesados analisados..

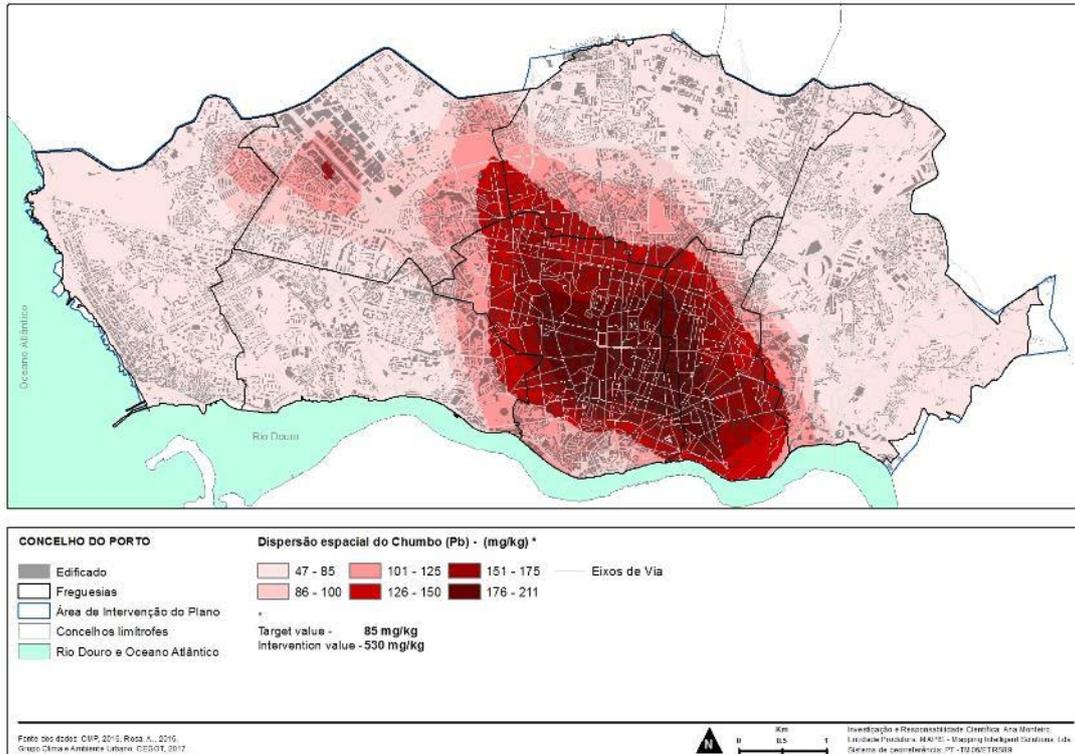
Não é possível a partir deste levantamento estabelecer, com clareza, uma relação de causalidade entre os usos do solo e as concentrações mais elevadas dos poluentes analisados. Nem, por exemplo, quando se consideram as localizações das bombas de gasolina (Figura 48). Todavia, esta monitorização sistemática da qualidade da camada superficial do solo no concelho do Porto deveria transformar-se numa rotina semestral dada a gravidade dos impactes negativos que significam para a saúde humana e para a qualidade dos recursos hídricos.

**Figura 43 – Dispersão espacial do Arsénio (As).**



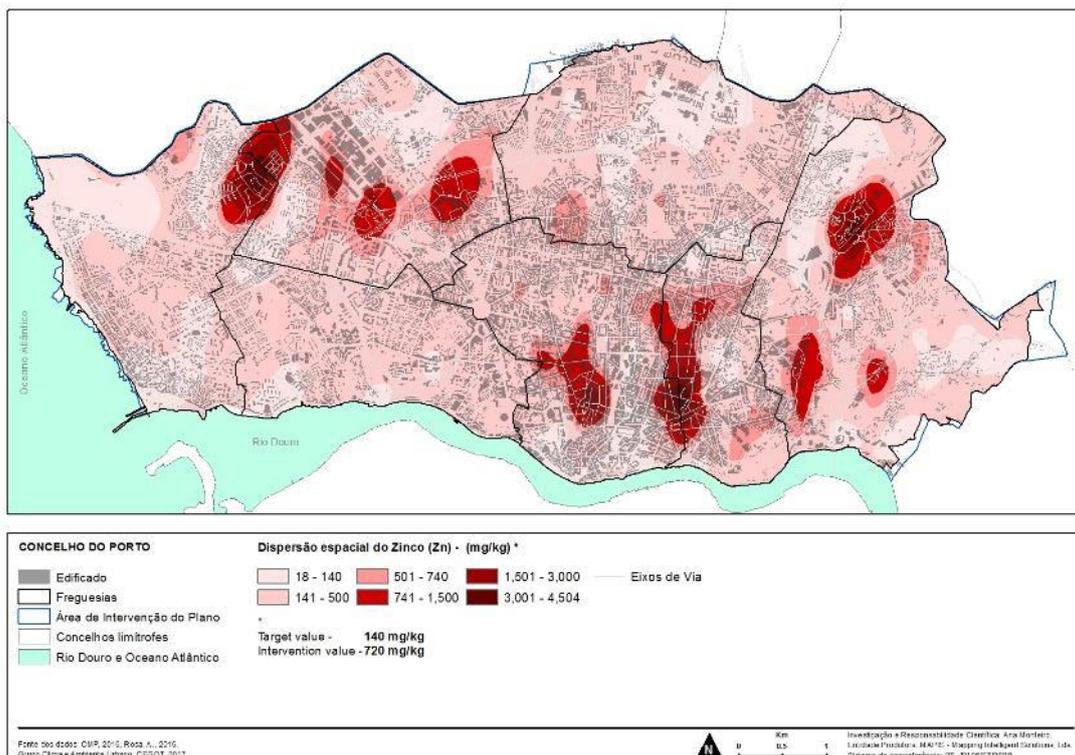
Fonte: CMP, 2016; Rosa, A., 2016.

Figura 44 – Dispersão espacial do Chumbo (Pb).



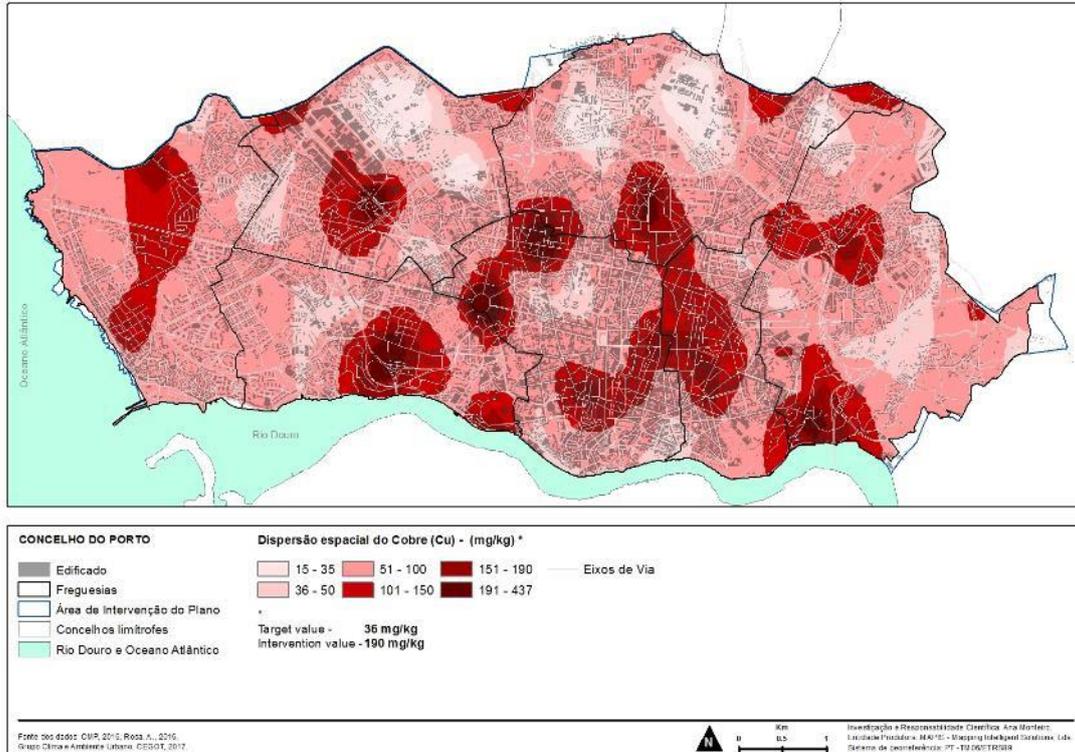
Fonte: CMP, 2016; Rosa, A., 2016.

Figura 45 – Dispersão espacial do Zinco (Zn).



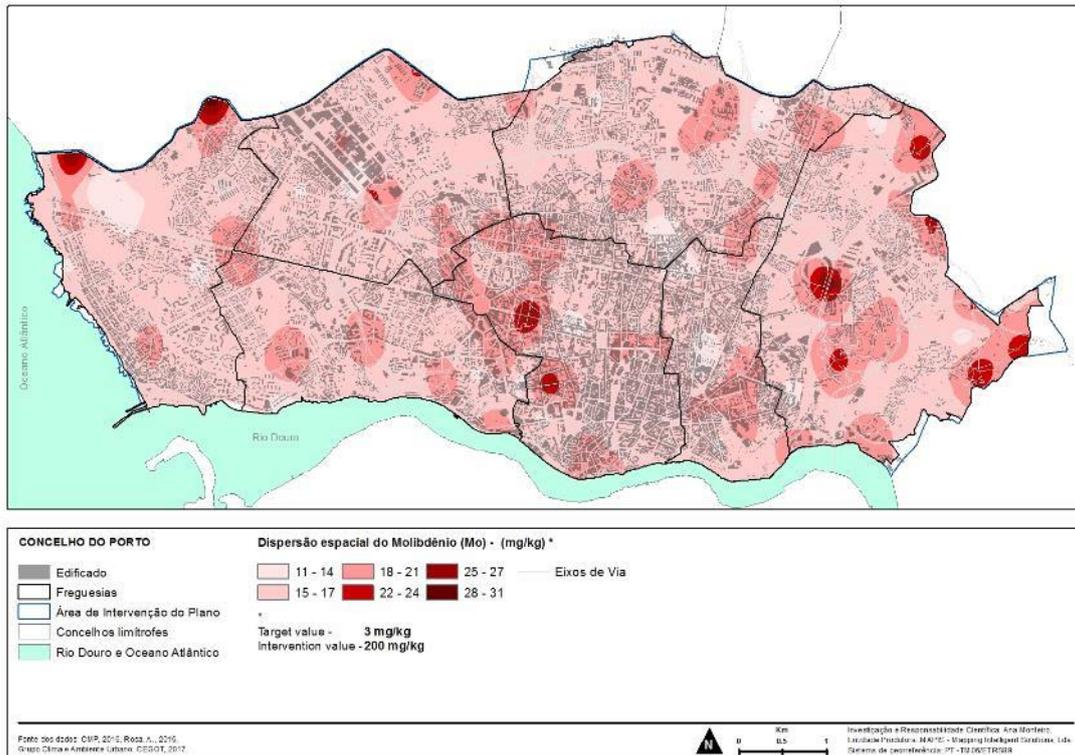
Fonte: CMP, 2016; Rosa, A., 2016.

**Figura 46 – Dispersão espacial do Cobre (Cu).**



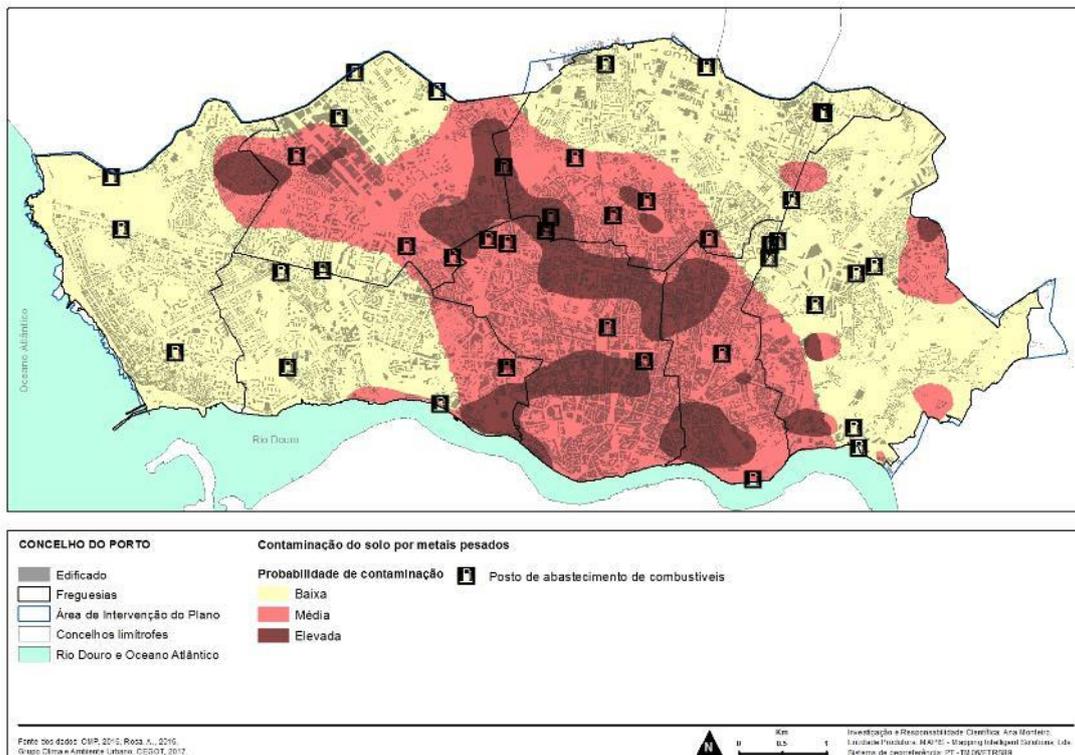
Fonte: CMP, 2016; Rosa, A., 2016.

**Figura 47 – Dispersão espacial do Molibdênio (Mo).**



Fonte: CMP, 2016; Rosa, A., 2016.

Figura 48 - Probabilidade de contaminação dos solos por metais pesados.



Fonte: CMP 2016; Rosa, A., 2016; Grupo Clima e Ambiente Urbano, CEGOT, 2017.

A partir da informação anterior, tanto relativamente aos usos do solo como à monitorização da contaminação do solo efetuada em 2016 e 1997 (Monteiro, 1997), procurámos elaborar uma síntese do risco potencial de contaminação do solo na área do Porto tendo como critério fundamental a perigosidade para a saúde humana dos cinco poluentes estudados e analisados por Rosa (2016), e de acordo com a seguinte fórmula:

$$(As * 0.45) + (Pb * 0.35) + (Zn * 0.1) + (Cu * 0.06) + (Mo * 0.04)$$

A espacialização desses poluentes foi reclassificada em 3 classes: 1- valores abaixo do valor guia; 2 - valores entre o valor-guia e o valor-limite; 3- valores acima do valor-limite. E, o resultado final foi classificado, pelo método *natural breaks*: 1 - solos não contaminados; 2 - solos contaminados; 3 - solos severamente contaminados (Figura 48).

#### 2.2.4. Ruído.

A CMP dispõe de um *Plano Municipal de Redução de Ruído* (2014) que, tendo em conta toda a legislação em vigor<sup>14</sup> e aproveitando os resultados da investigação desenvolvida pelo Núcleo de Investigação e Desenvolvimento em Engenharia Acústica (NI&DEA) da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), coordenada pelo professor Rui Calejo Rodrigues, permite ter um conhecimento detalhado e atualizado deste importante atributo do ambiente urbano (PMRR, 2014).

Para esta avaliação (PMRR, 2014), foram considerados como dados de base a altura dos edifícios, os obstáculos permanentes à propagação de ruído (muros, barreiras acústicas, etc.) e, como fontes de ruído: o tráfego diário (todas as vias cujo tráfego médio diário anual ultrapasse 8 000 veículos, e vias que confluem com estes eixos); o tráfego aéreo (todo o tráfego aéreo cujas rotas intercetem a zona do concelho); o tráfego ferroviário (todas as ferrovias, o metropolitano de superfície com 30 000 ou + passagens de comboios por ano).

Com base neste diagnóstico foram elaborados mapas de isófonas<sup>15</sup> que tiveram em conta a classificação da zona em causa<sup>16</sup> e os limiares estabelecidos no artigo 11º, nº1 do

---

<sup>14</sup> Constituição da República Portuguesa – Artigo 66º, Lei de Bases do Ambiente – Lei 11/87 de 7 de Abril; Decreto –Lei nº 146/2006 de 31 de Julho; Regulamento Geral do Ruído –DL n.º 278/2007, de 01/08, Normas IPQ no domínio ambiental, designadamente a NP 1730/96, Diretrizes para elaboração de Mapas de Ruído, Instituto do Ambiente, Março de 2007, Manual Técnico para elaboração de Planos Municipais de Redução de Ruído, Agência Portuguesa do Ambiente, Abril de 2008.

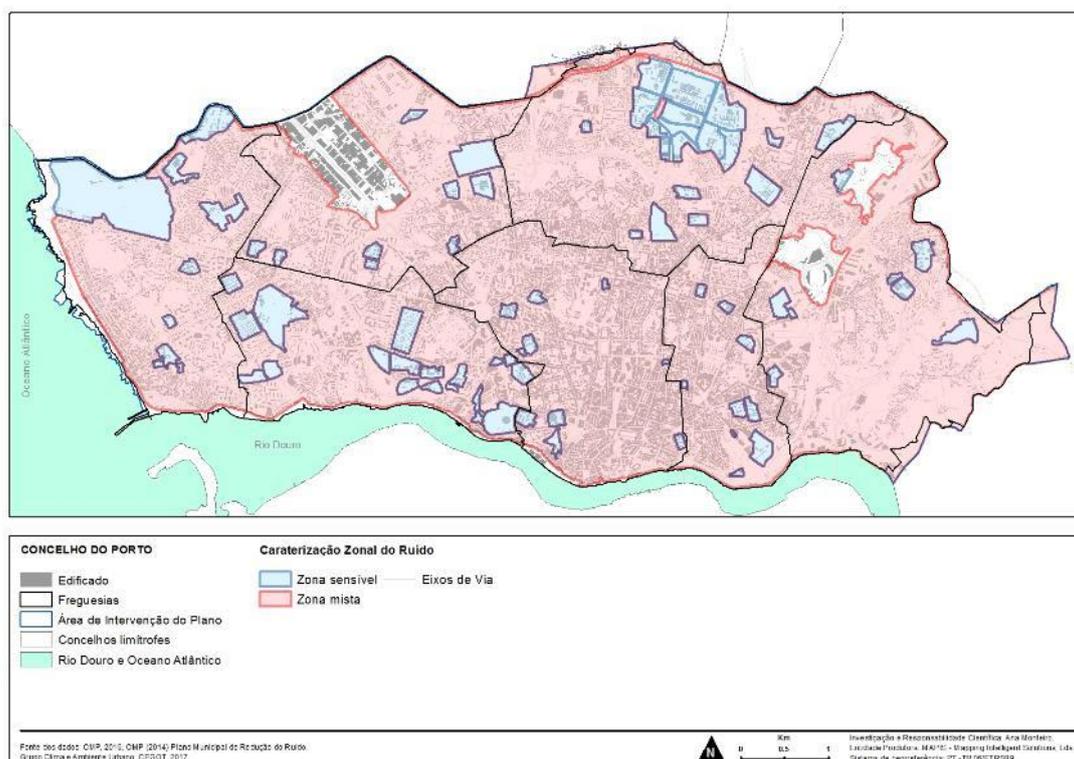
<sup>15</sup> O ruído ambiente exterior pode ser expresso pelos descritores Lden (mede o incómodo global provocado pelo ruído diurno-entardecer-noturno em dB), pelo Ld (mede o incómodo global provocado pelo ruído diurno em dB) e Ln (mede o incómodo global provocado pelo ruído noturno em dB).

<sup>16</sup> As zonas sensíveis correspondem a todos os espaços que no plano municipal de ordenamento do território tenham usos destinados a habitação, escolas, hospitais, espaços de lazer pequenas unidades de comércio e de serviços sem funcionamento no período noturno. As zonas mistas são todas as restantes.

Regulamento Geral do Ruído (Decreto-lei n.º 278/2007, de 1 de Agosto) para as zonas sensíveis e mistas<sup>17</sup> (Figura 49).

Para além da monitorização do ruído exterior, foram também criados mapas de conflito tendo em conta a população potencialmente afetada sempre que o ruído ultrapassa o nível de incómodo admissível e sugeridas medidas de mitigação para cada caso em concreto (PMRR, 2014).

**Figura 49 - Zonas sensíveis e zonas mistas.**



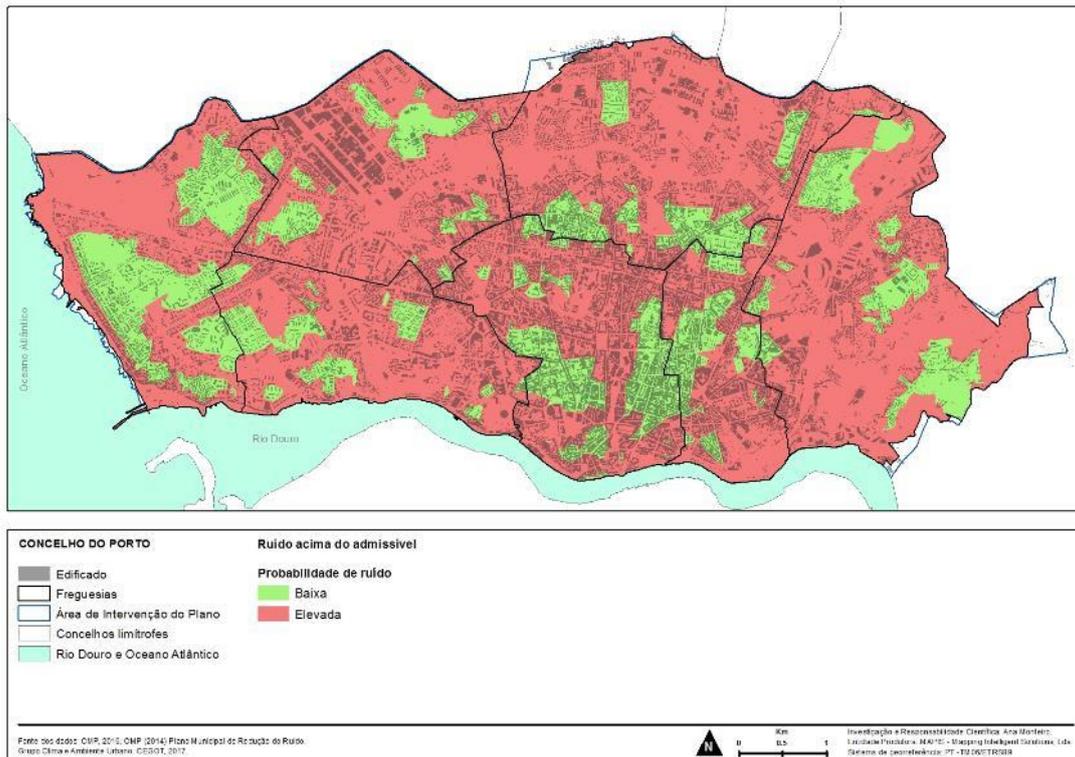
Fonte: CMP, 2014, 2016 (adaptado).

Tendo em conta a inventariação das Zonas de Conflito na cidade do Porto e os mapas de isófonas já realizados (CMP, 2014), cartografámos como áreas mais ruidosas todas as subsecções estatísticas que interseam as áreas expostas a ruído ambiente exterior superior a 55 dB(A), expresso pelo indicador Lden (Indicador de ruído diurno-entardecer-noturno), e superior a 45 dB(A), expresso pelo indicador Ln (Indicador de ruído Noturno) e obtivemos, à subsecção, uma imagem simplificada das áreas-problema relativamente a este atributo (Figura 50).<sup>18</sup>

<sup>17</sup> As zonas mistas não devem ficar expostas a ruído ambiente exterior superior a 65 dB(A), expresso pelo indicador Lden, e superior a 55 dB(A), expresso pelo indicador Ln; as zonas sensíveis não devem ficar expostas a ruído ambiente exterior superior a 55 dB(A), expresso pelo indicador Lden, e superior a 45 dB(A), expresso pelo indicador Ln.

<sup>18</sup> Foram classificadas como áreas de probabilidade elevada de ruído todas as subsecções estatísticas (BGR12011) que interseam as áreas expostas a ruído ambiente exterior superior a 55 dB(A), expresso pelo indicador Lden (Indicador de ruído diurno-entardecer-nocturno), e superior a 45 dB(A), expresso pelo indicador Ln (Indicador de ruído Noturno). Todas as restantes subsecções foram consideradas de probabilidade baixa de ruído.

**Figura 50 – Probabilidade de ruído acima do admissível.**



Fonte: CMP, 2014, 2016 (adaptado); Grupo Clima e Ambiente Urbano, CEGOT, 2017.

### 3. Vulnerabilidades e Riscos.

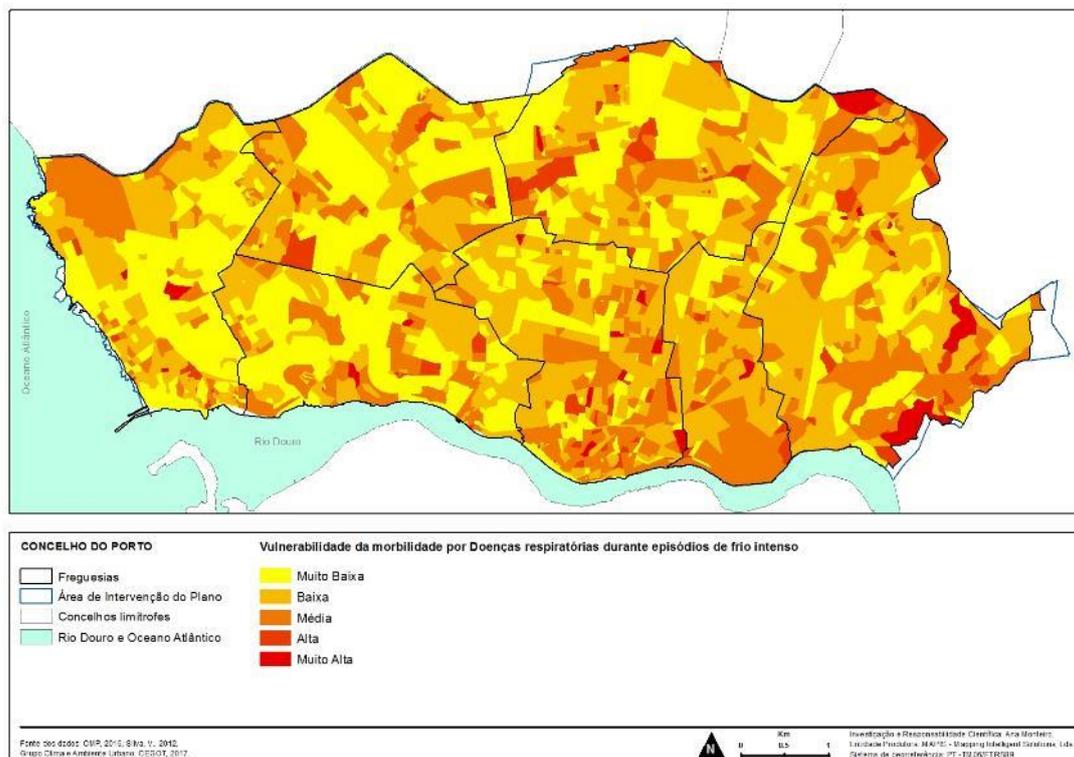
#### 3.1. População e saúde.

Efetuada o diagnóstico sobre a forma e a magnitude dos riscos potenciais de ilha de calor e de frescura, de aceleração e travagem dos fluxos de ar, da qualidade do ar, da água, do solo e do ruído na cidade do Porto, considerámos relevante acrescentar a esta informação as características dos indivíduos, já que eles são um dos principais destinatários do Plano Diretor Municipal.

Até aqui, os resultados obtidos tiveram em conta sobretudo a anatomia e a fisiologia da cidade e por esse motivo foram contempladas na nossa análise as características naturais e artificiais existentes no espaço portuense (Anexo 1). Contudo, convém lembrar que os riscos potencialmente existentes e mapeados neste trabalho podem ser amplificados ou atenuados consoante as características da população-alvo (os idosos, as crianças, os doentes, os sem abrigo, os mais pobres, os que residem em edifícios degradados, etc.).

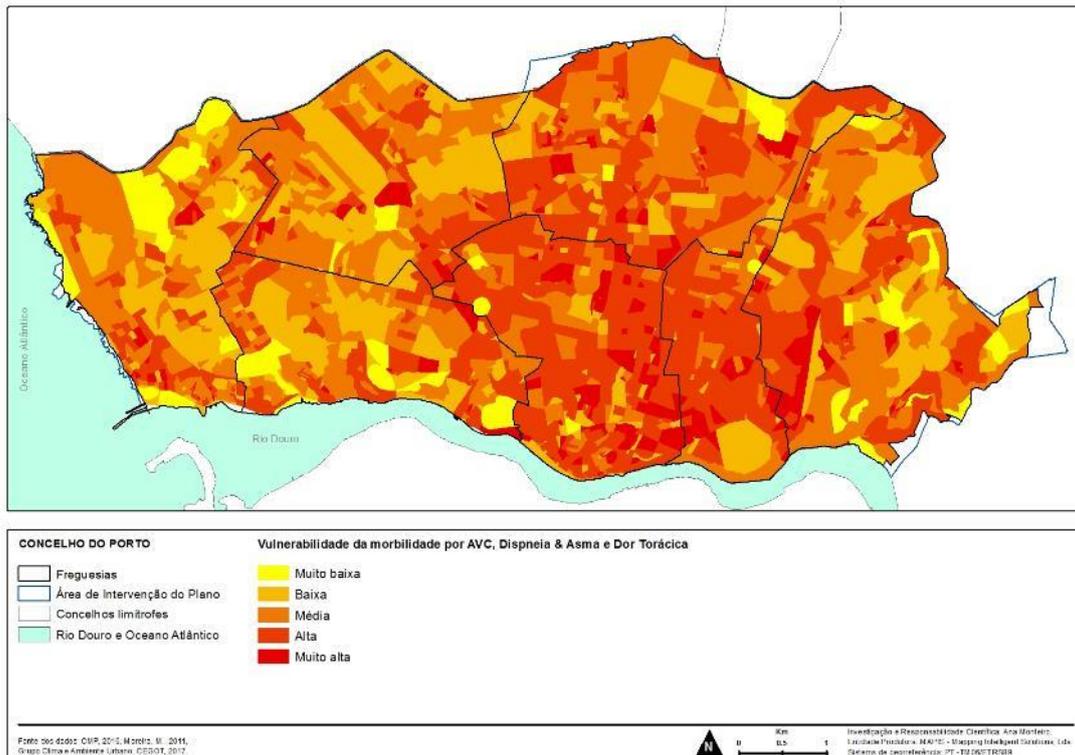
Os resultados da investigação científica realizada sobre este tema e nesta área geográfica sublinham a pertinência da inclusão das características demográficas, sociais e económicas para promover a saúde e prevenir a doença (Figuras 51 a 53), isto é para criar espaços de bem estar e qualidade de vida que é afinal o propósito norteador das orientações de planeamento do PDM.

**Figura 51 - Vulnerabilidade da morbilidade por doenças respiratórias durante episódios de frio intenso**



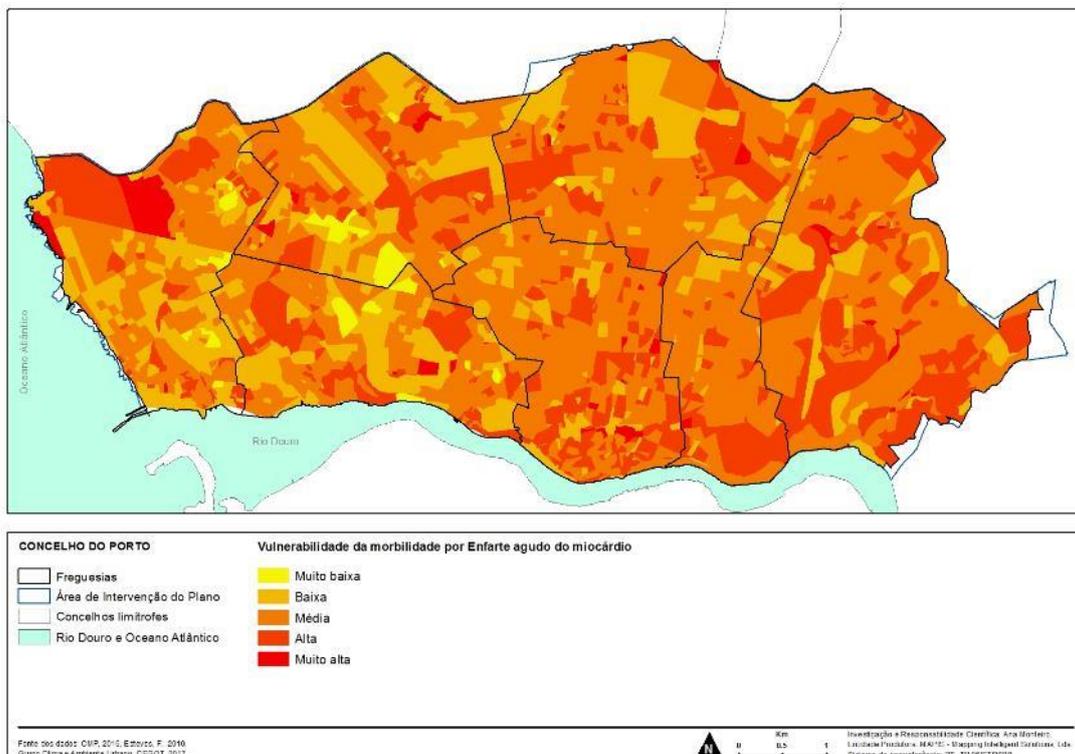
Fonte: CMP, 2016; Silva, V., 2012; Grupo Clima e Ambiente Urbano, CEGOT, 2017.

**Figura 52 - Vulnerabilidade da morbilidade por AVC, Dispneia & Asma e Dor Torácica.**



Fonte: CMP, 2016; Moreira, M., 2011; Grupo Clima e Ambiente Urbano, CEGOT, 2017.

**Figura 53 - Vulnerabilidade da morbilidade por enfarte agudo do miocárdio.**

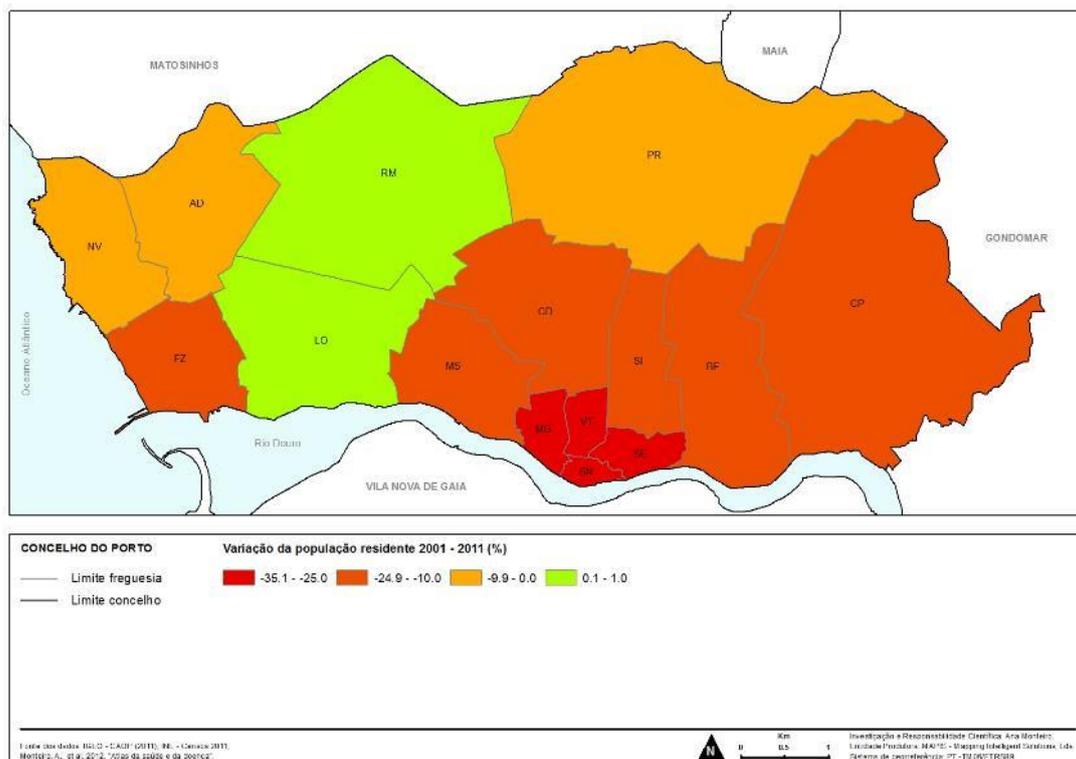


Fonte: CMP, 2016; Esteves, 2010; Grupo Clima e Ambiente Urbano, CEGOT, 2017.

Nesse sentido, convém recordar que a cidade foi, entre 2001 e 2011, um espaço em perda contínua de população e que essa diminuição não ocorreu ao mesmo ritmo em cada uma das freguesias (Figura 54), traduzindo-se atualmente numa grande diferenciação de densidade populacional (Figura 55) onde predomina quase sempre o sexo feminino (Figura 56).

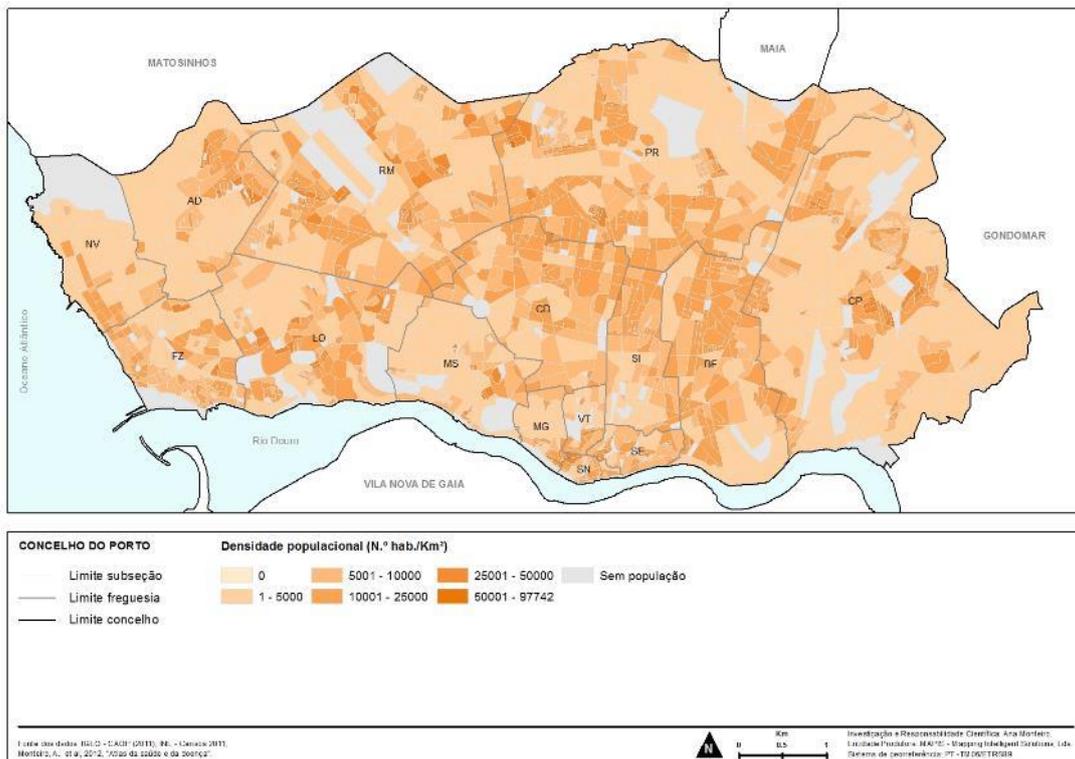
Para o nosso objetivo é importante considerar também a distribuição dos grupos etários mais vulneráveis ao contexto ambiental – as crianças e os idosos – que no caso do Porto têm em algumas subsecções um peso percentual muito elevado (Figuras 57 a 60). As freguesias portuguesas com maior peso de crianças entre os 0 e os 14 anos são as da Foz do Douro (12.8%), Aldoar (13.9%), Ramalde (14.2%), Lordelo do Ouro (14.3%) e Nevogilde (15.5%) enquanto as que têm maior peso de Idosos com 65 anos ou mais são a Sé (26.4%), Cedifeita (27,0%), Santo Ildefonso (27.3%), Bonfim (27,4%) e Vitória (30,1%).

**Figura 54 - Variação da População entre 2001 e 2011.**



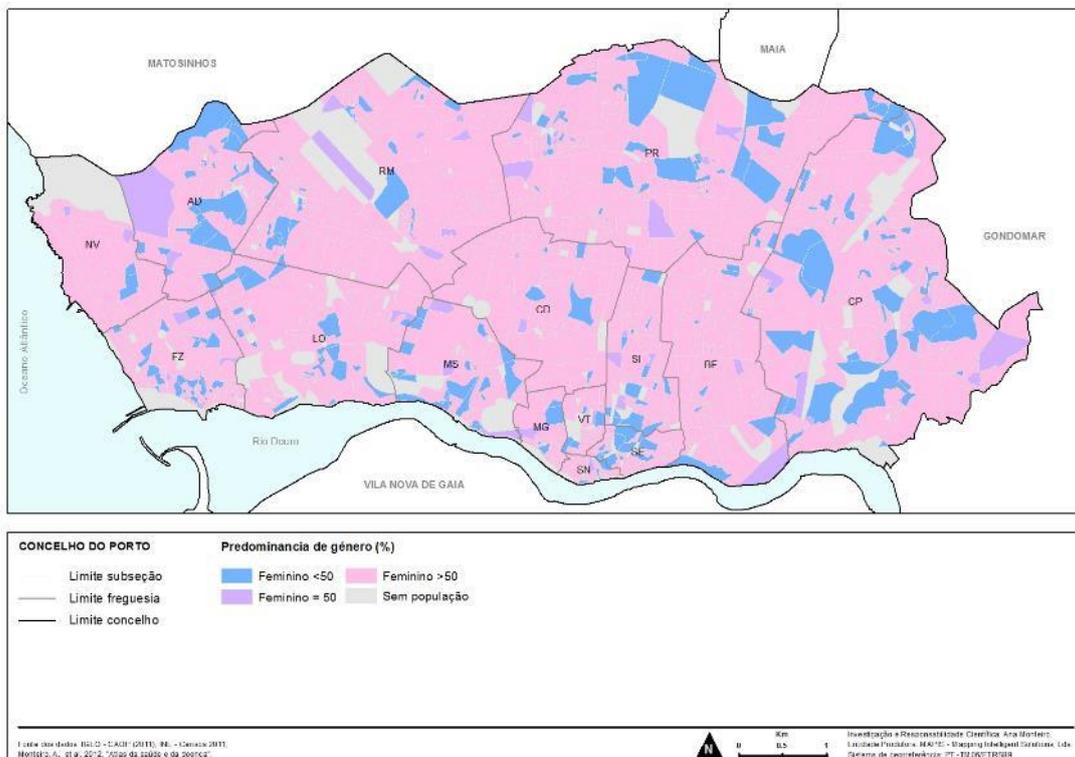
Fonte: CMP, 2016; Monteiro et al., 2012c.

**Figura 55 - Densidade populacional, INE, Censos de 2011.**



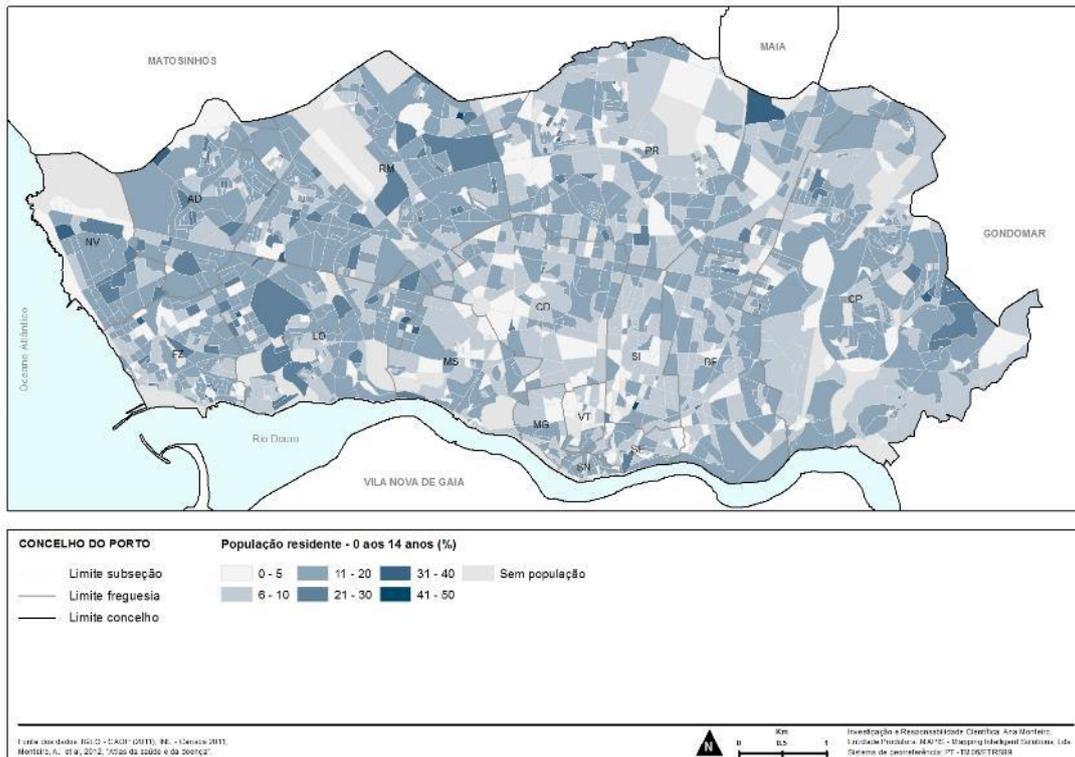
Fonte: CMP, 2016; Monteiro et al., 2012c.

**Figura 56 - População por género, à subsecção.**



Fonte: CMP, 2016; Monteiro et al., 2012c.

**Figura 57 - População residente dos 0 aos 14 anos de idade.**



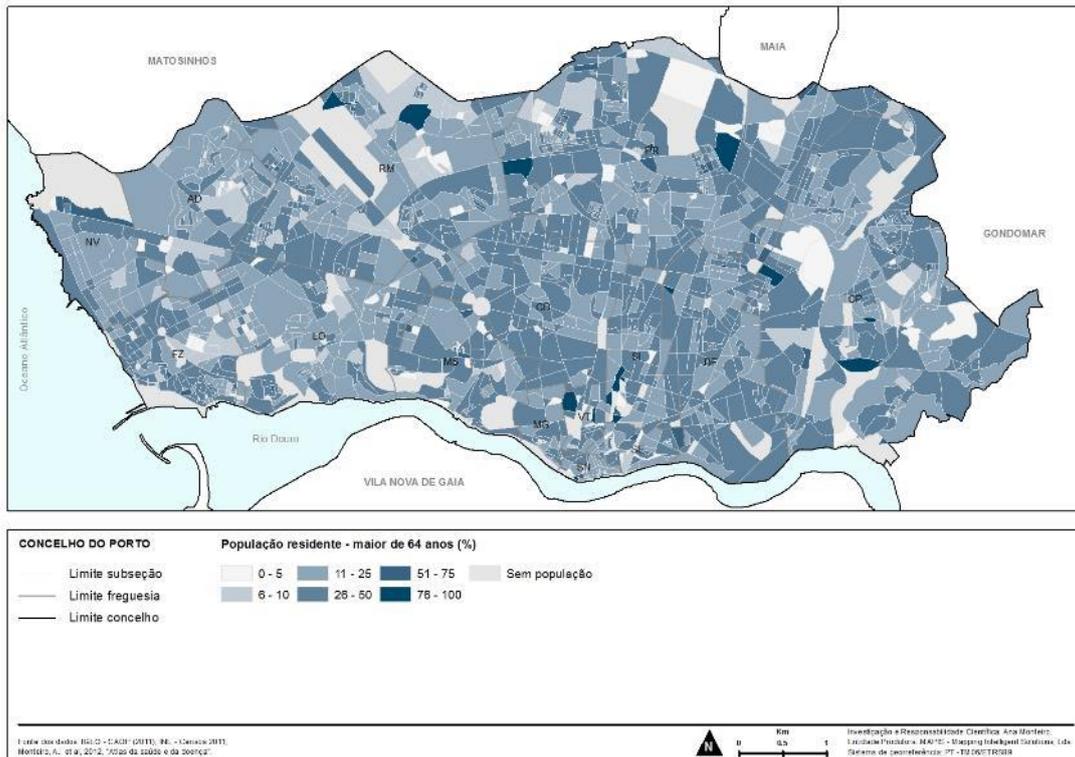
Fonte: CMP, 2016; Monteiro et al., 2012c.

**Figura 58 - População residente dos 15 aos 64 anos de idade.**



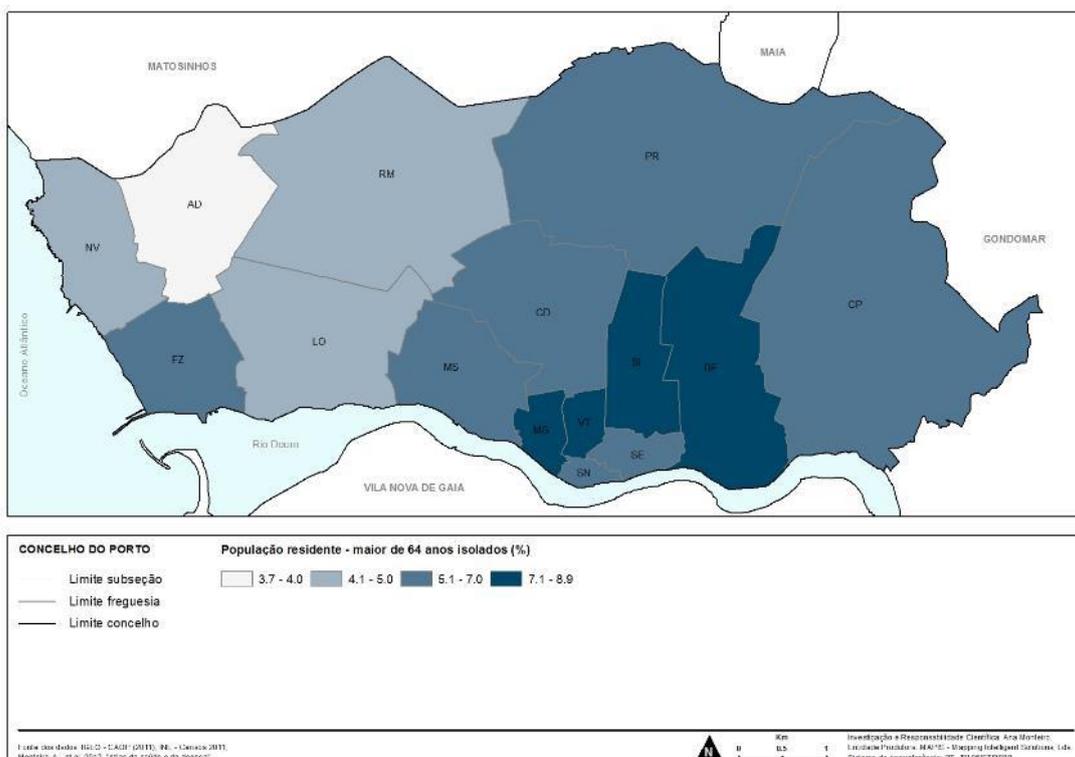
Fonte: CMP, 2016; Monteiro et al., 2012c.

**Figura 59 - População residente com mais de 64 anos de idade.**



Fonte: CMP, 2016; Monteiro et al., 2012c.

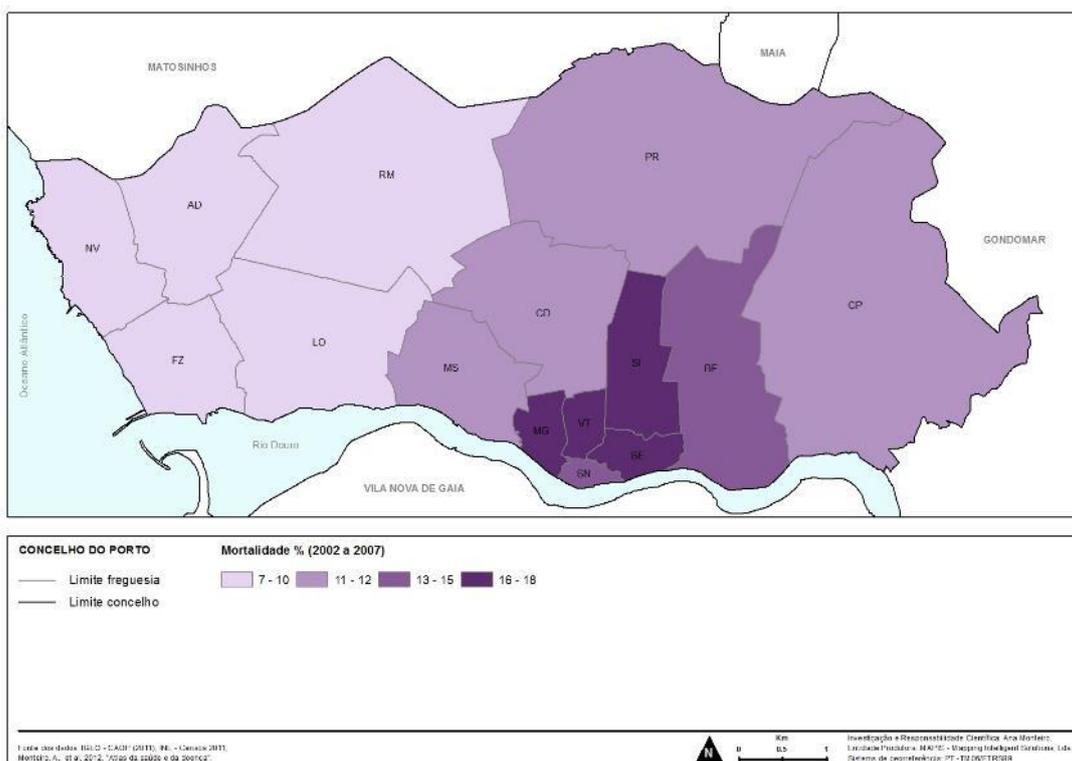
**Figura 60 - População idosa isolada.**



Fonte: CMP, 2016; Monteiro et al., 2012c.

A mortalidade, por todas as causas, entre 2002 e 2007<sup>19</sup> (Figura 61), e a morbilidade analisada a partir dos internamentos diários com várias doenças, nos quatro maiores hospitais públicos existentes na área (Figuras 62 a 69) entre 2000 e 2007 ajuda, em conjunto com a informação anterior, a confirmar esta enorme diferenciação espacial da população-alvo que conduziu à elaboração de uma carta de privação ambiental e socioeconómica (Figura 70).

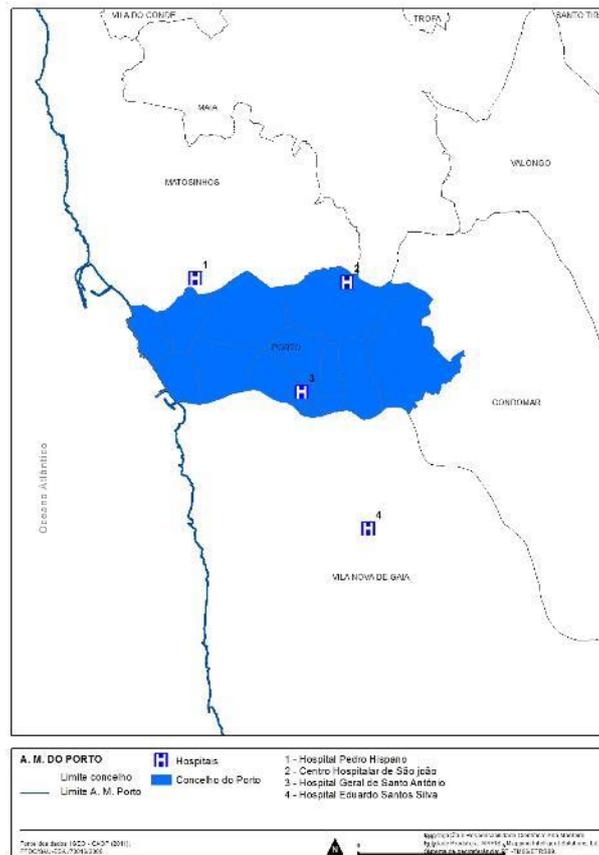
**Figura 61 - Mortalidade de 2002 a 2007.**



Fonte: CMP, 2016; Monteiro et al., 2012c.

<sup>19</sup> Apesar de existir informação da ACSS mais recente só estamos autorizados a transcrever a que nos foi cedida para os projetos **PTDC/SAU-ESA/73016/2006** - Human health risks caused by heat and cold waves e **ERA NET URBAN/0001/2009** - Potential impact of climate trends and weather extremes on outdoor thermal comfort in European cities - implications for sustainable urban design.

**Figura 62 - Localização dos hospitais de referência.**



Fonte: Monteiro et al., 2012c.

**Figura 63 - Internamentos nos quatro hospitais de referência de 2000 a 2007.**



Fonte: CMP, 2016; Monteiro et al., 2012c.

**Figura 64 - Total de internamentos por causa - Doenças do aparelho respiratório (GDC4) de 2000 a 2007.**



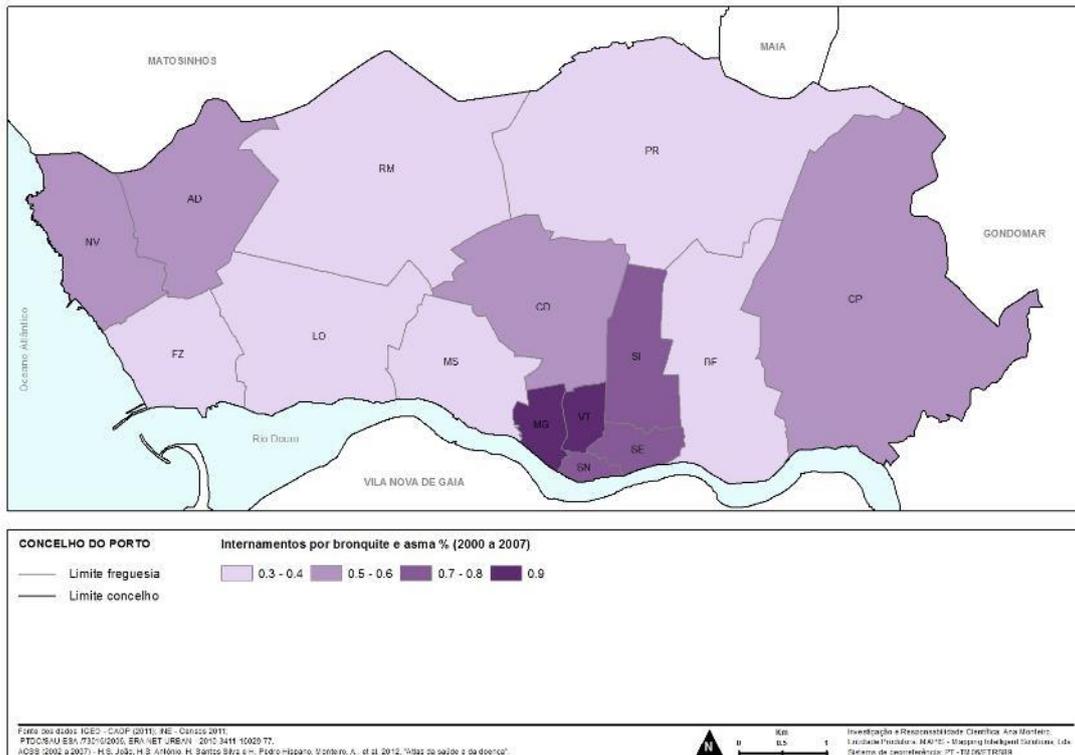
Fonte: CMP, 2016; Monteiro et al., 2012c.

**Figura 65 - Total de internamentos por causa – Doenças do aparelho circulatório (GDC5) de 2000 a 2007.**



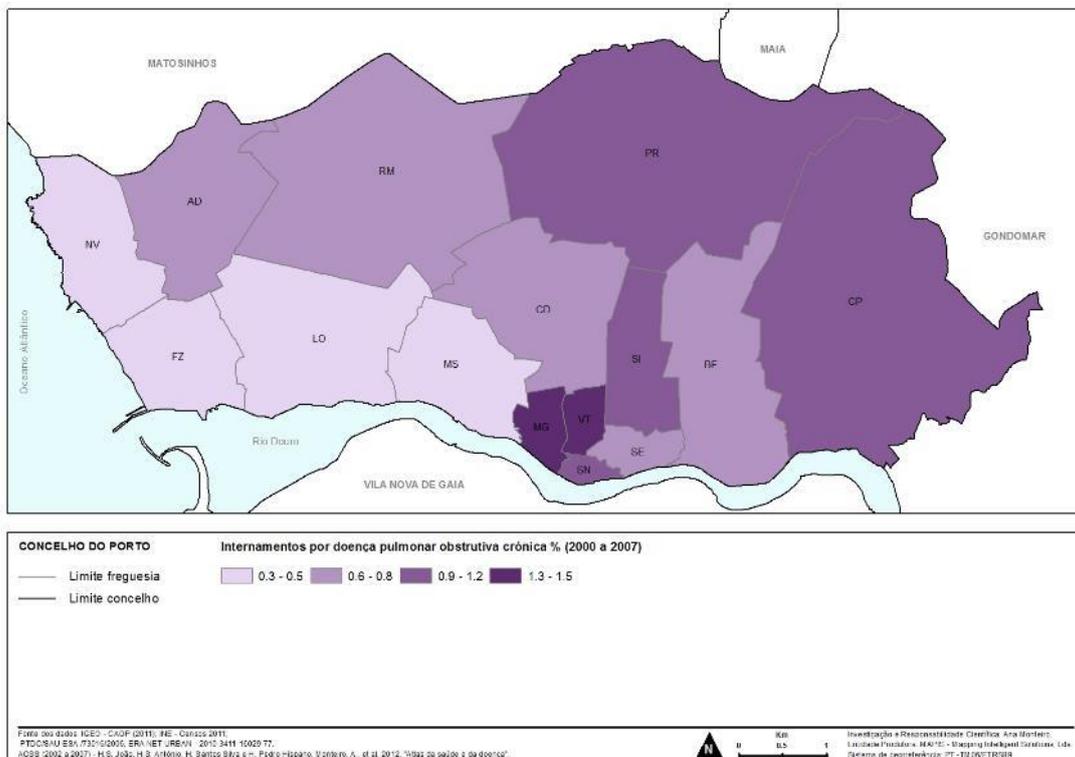
Fonte: CMP, 2016; Monteiro et al., 2012c.

**Figura 66 - Total de internamentos por causa - Bronquite e asma de 2000 a 2007.**



Fonte: CMP, 2016; Monteiro et al., 2012c.

**Figura 67 - Total de internamentos por causa – DPCO de 2000 a 2007.**



Fonte: CMP, 2016; Monteiro et al., 2012c.

**Figura 68 - Total de internamentos por causa – Enfarte agudo do miocárdio de 2000 a 2007.**

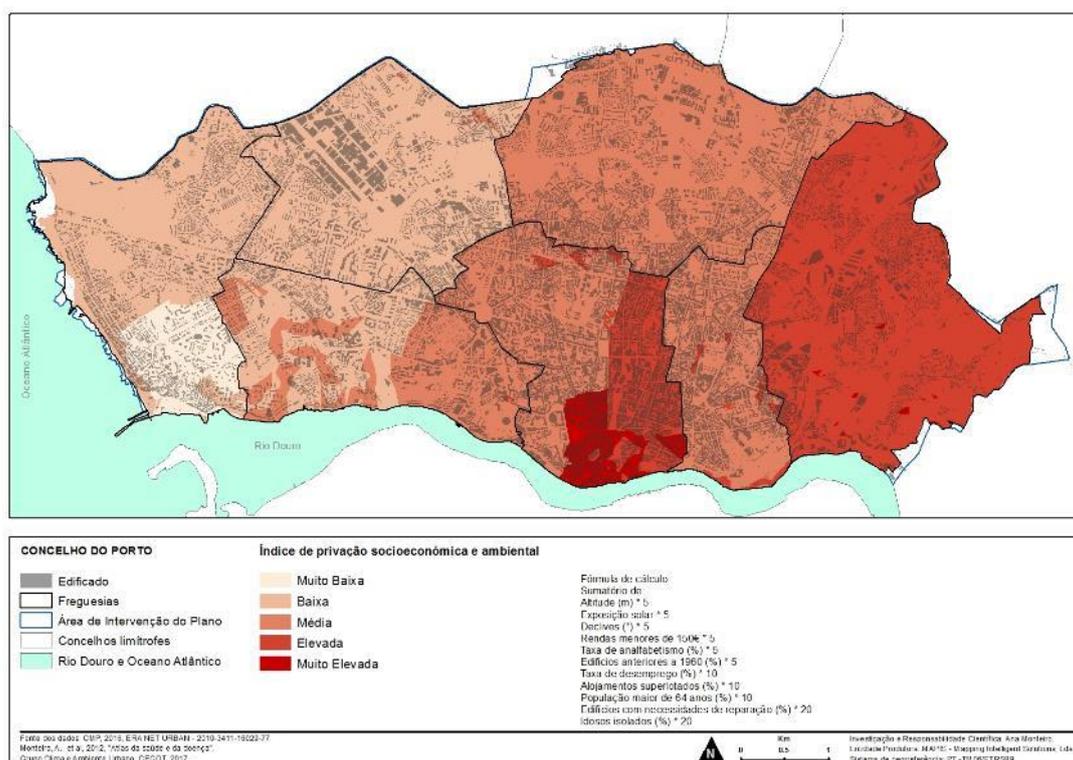


Fonte: CMP, 2016; Monteiro et al., 2012c.

**Figura 69 - Total de internamentos por causa – Diabetes de 2000 a 2007.**



Fonte: CMP, 2016; Monteiro et al., 2012c.

**Figura 70 - Índice de privação socioeconómica e ambiental para a saúde.**


Fonte: CMP, 2016; Monteiro et al., 2012c (adaptado).

Este exercício da avaliação das injustiças socioeconómicas e ambientais<sup>20</sup> da população portuense relativamente ao agravamento do seu estado de saúde, nomeadamente, no que diz respeito às doenças do foro respiratório e circulatório e à diabetes tipo 2, teve em conta três variáveis ambientais e oito variáveis socioeconómicas<sup>21</sup>, e pretende apenas ilustrar a pertinência de modificar substantivamente a escala de abordagem nas orientações de planeamento que visam promover a qualidade de vida, o bem estar e a saúde da população.

A análise do clima e do ambiente urbano com vista à sugestão de medidas de planeamento terapêuticas que contribuam eficazmente para promover uma melhor qualidade de vida não pode ser efetuada sem uma visão detalhada das várias combinações “people & place”.

<sup>20</sup> Áreas de privação socioeconómica e ambiental do concelho do Porto delimitadas no âmbito da investigação realizada no projeto PTDC-SAU-ESA/73016/2006 (Monteiro et al., 2012).

A fórmula de cálculo utilizada consistiu em:

Altitude (m) \* 5 + Exposição solar \* 5 + Declives (°) \* 5 + Rendas menores de 150€ \* 5 + Taxa de analfabetismo (%) \* 5 + Edifícios anteriores a 1960 (%) \* 5 + Taxa de desemprego (%) \* 10 + Alojamentos superlotados (%) \* 10 + População maior de 64 anos (%) \* 10 + Edifícios com necessidades de reparação (%) \* 20 + Idosos isolados (%) \* 20.

<sup>21</sup> A altitude, a exposição solar, os declives, os edifícios com necessidades de reparação grandes e muito grandes, os edifícios anteriores a 1960, os alojamentos arrendados por pessoas não qualificadas com rendas inferiores a 150€/mês, os alojamentos superlotados, a taxa de analfabetismo, a taxa de desemprego, o peso percentual dos idosos isolados, o peso percentual da população maior de 64 anos.

### **3.2. Hotspots termo-anemométricos, e de degradação da qualidade do ar, da água, do solo e do ruído**

Em função do diagnóstico efetuado até aqui percebemos que, para conseguir definir as áreas mais problemáticas relativamente às quais é prioritário estabelecer uma estratégia que permita agir com eficácia, é necessário revisitar toda a informação e procurar encontrar os espaços que acumulam condições de degradação ambiental e uma população-alvo particularmente vulnerável, espaços estes que passaremos a designar de *hotspots*.

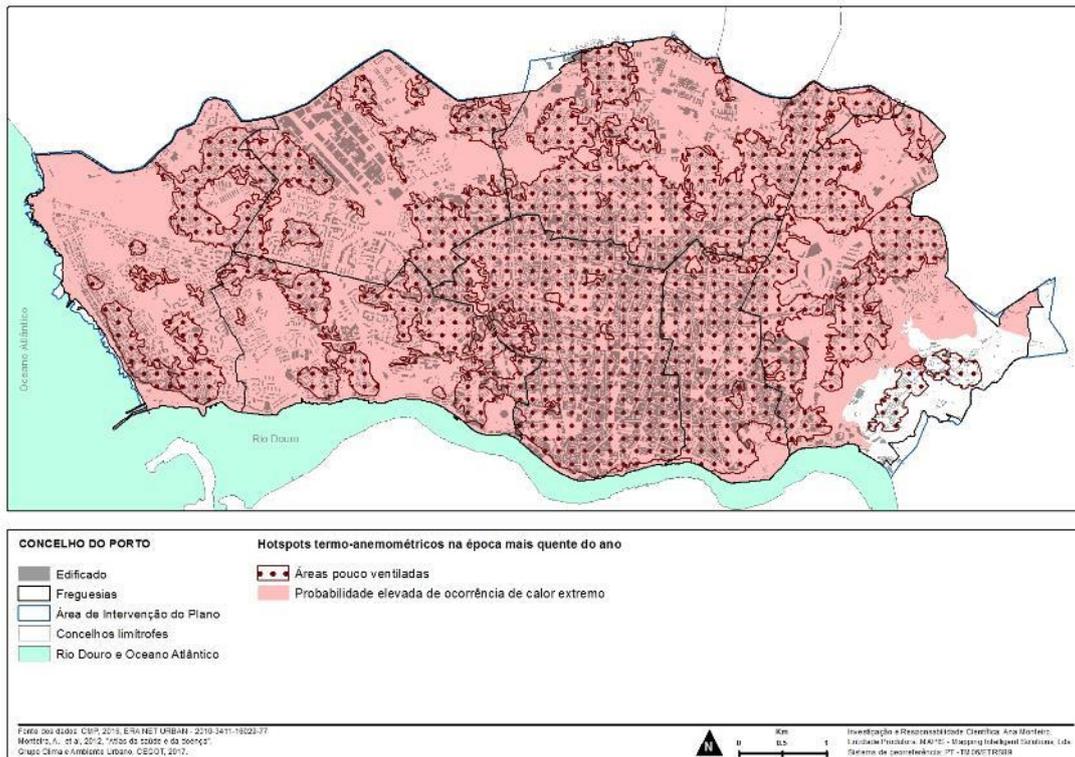
#### **3.2.1. Hotspots climáticos de verão e inverno.**

Do ponto de vista das orientações de planeamento, para além de conhecer as ilhas de calor e de frescura e os canais de travagem e aceleração do vento prováveis, importa saber onde é que ambas as condições se combinam para incrementar ou diminuir o desconforto térmico. Por exemplo, se uma área com ilhas de calor de grande magnitude coincidir com uma área de pouca ventilação, as condições de desconforto são amplificadas substantivamente, mas se coincidirem com uma área de forte ventilação, o desconforto será atenuado. E, dentro da mesma bolsa de anomalia térmica positiva podem, como vimos, existir áreas em que a ventilação está facilitada e outras em que não.

Nesse sentido combinámos em SIG as cartas de risco elaboradas isoladamente para a época mais quente do ano (Figuras 5 e 24) e para a época mais fria do ano (Figuras 6 e 24). Os resultados finais apontam um conjunto de espaços no Porto onde será urgente intervir para atenuar o desconforto térmico de verão e de inverno (Figura 71 a 74) .

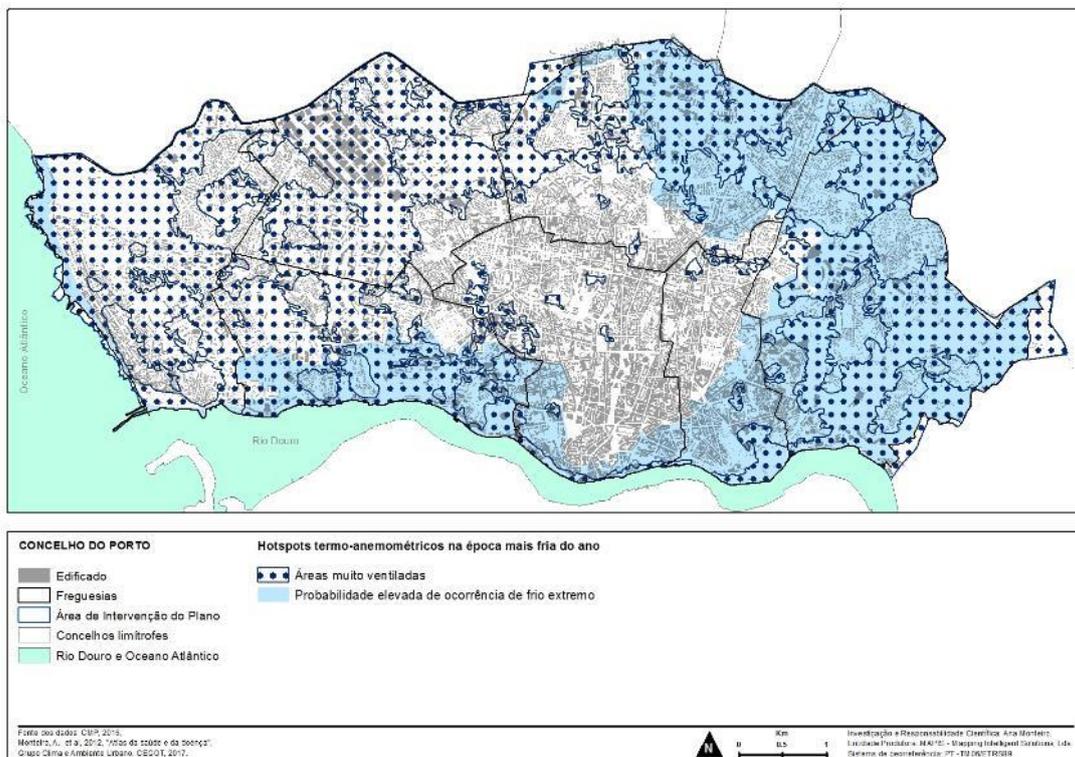
Contudo, como se verifica ao analisar a distribuição destes *hotspots* sobre o tecido urbano em concreto, e considerando a privação socioeconómica (Figuras 73 e 74), será muito difícil, se não impossível, adotar um cardápio de medidas de adaptação e de mitigação idênticas para resolver o mesmo problema em sítios diversos.

Figura 71 – Hotspots termo-anemométricos na época mais quente do ano.



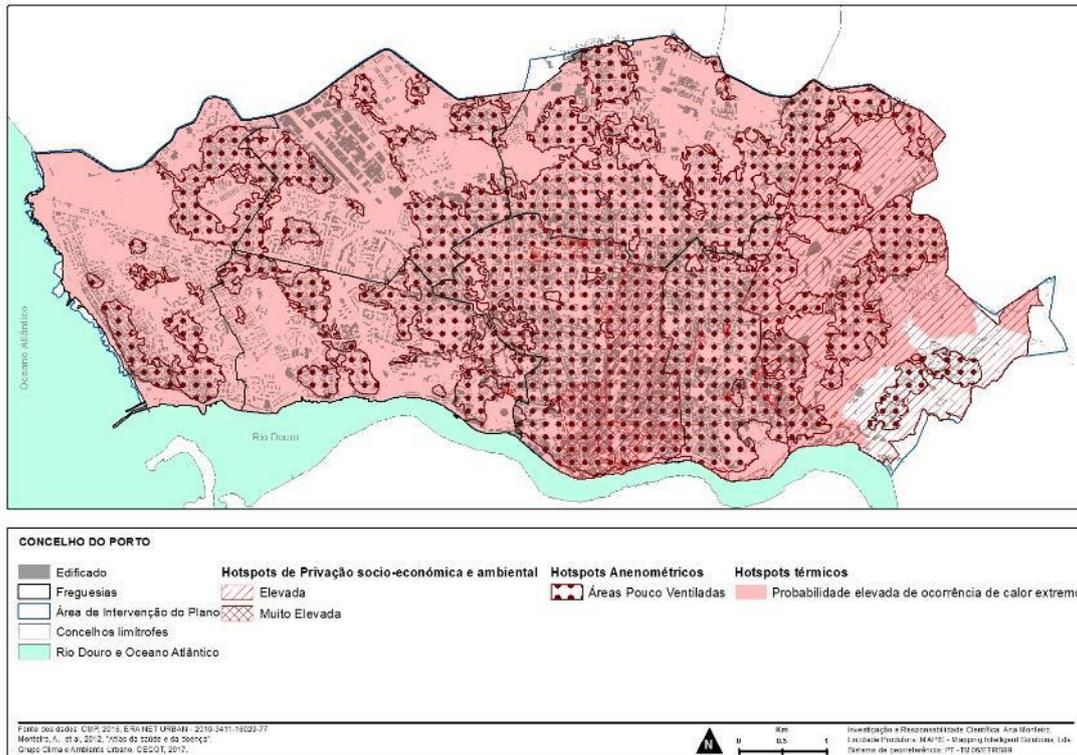
Fonte: CMP, 2016; Grupo Clima e Ambiente Urbano, CEGOT, 2017.

Figura 72 – Hotspots termo-anemométricos na época mais fria do ano.



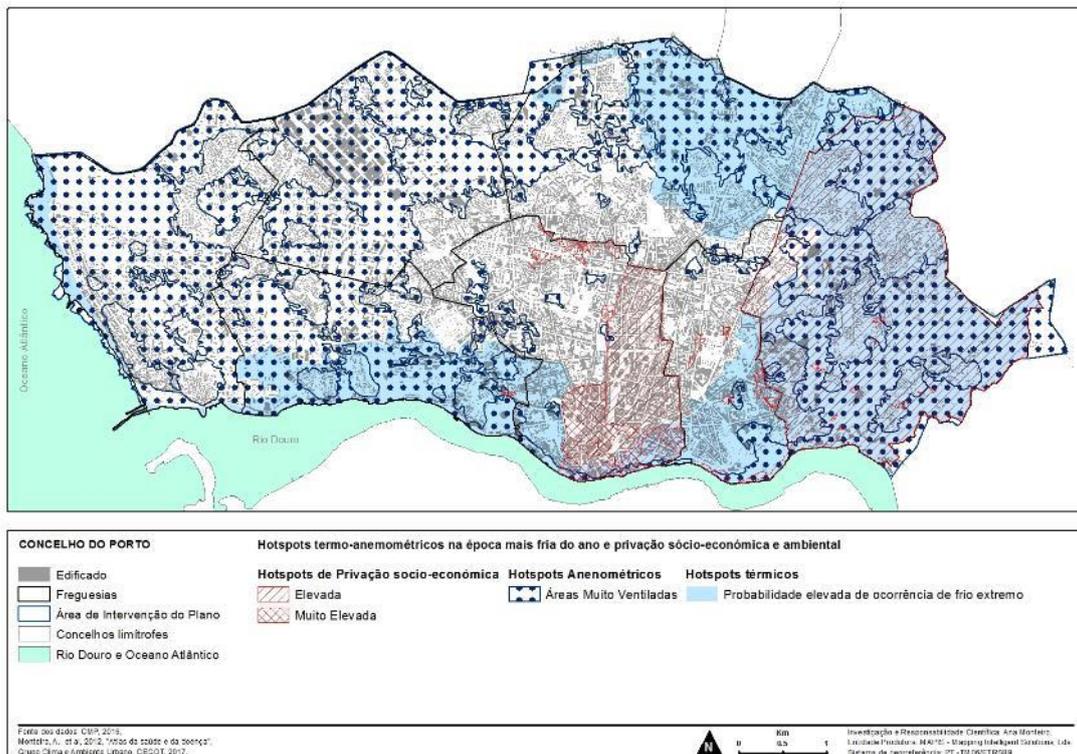
Fonte: CMP, 2016; Grupo Clima e Ambiente Urbano, CEGOT, 2017.

**Figura 73 – Hotspots termo-anemométrico na época mais quente do ano e áreas de maior privação sócio-económica e ambiental.**



Fonte: CMP, 2016; Grupo Clima e Ambiente Urbano, CEGOT, 2017.

**Figura 74 – Hotspots termo-anemométrico na época mais fria do ano e áreas de maior privação sócio-económica e ambiental.**

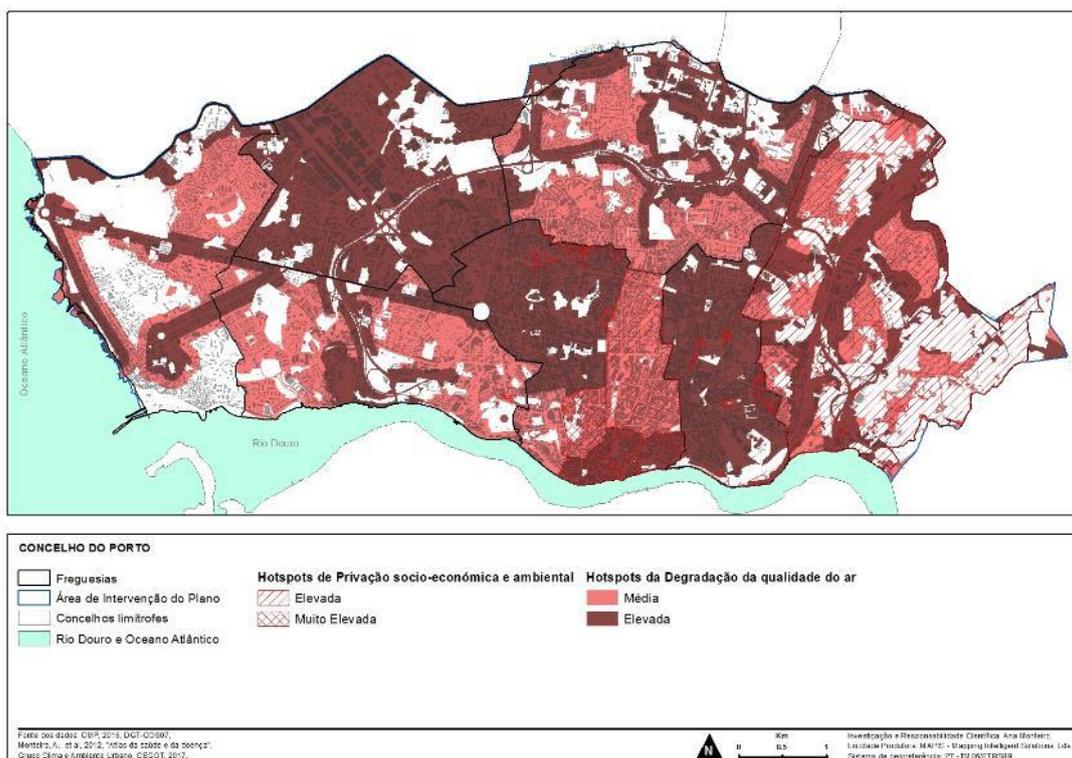


Fonte: CMP, 2016; Grupo Clima e Ambiente Urbano, CEGOT, 2017.

### 3.2.2. Síntese das áreas de degradação da qualidade do ar e da privação ambiental e sócio económica .

Ao associar os *hotspots* de degradação de qualidade do ar com as áreas de maior privação socioeconómicas (Figura 75), passa a ser mais fácil orientar o planeamento para estratégias, medidas e ações distintas e *tailored*.

**Figura 75 – Hotspots de degradação da qualidade do ar e de privação sócio-económica e ambiental.**

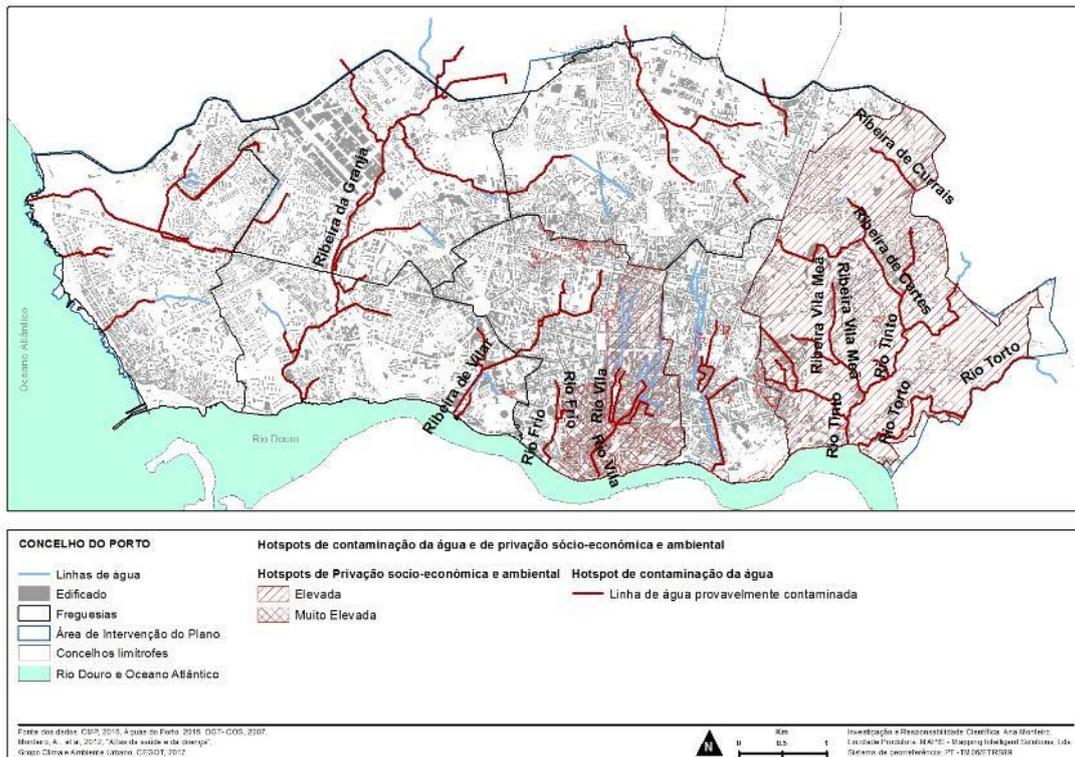


Fonte: CMP, 2016; Grupo Clima e Ambiente Urbano, CEGOT, 2017.

### 3.2.3. Síntese das áreas de degradação da qualidade da água e da privação ambiental e sócio económica

Ao associar os *hotspots* de degradação de contaminação das águas com as áreas de maior privação socioeconómica (Figura 76), passa a ser mais fácil orientar o planeamento para estratégias, medidas e ações distintas e *tailored*.

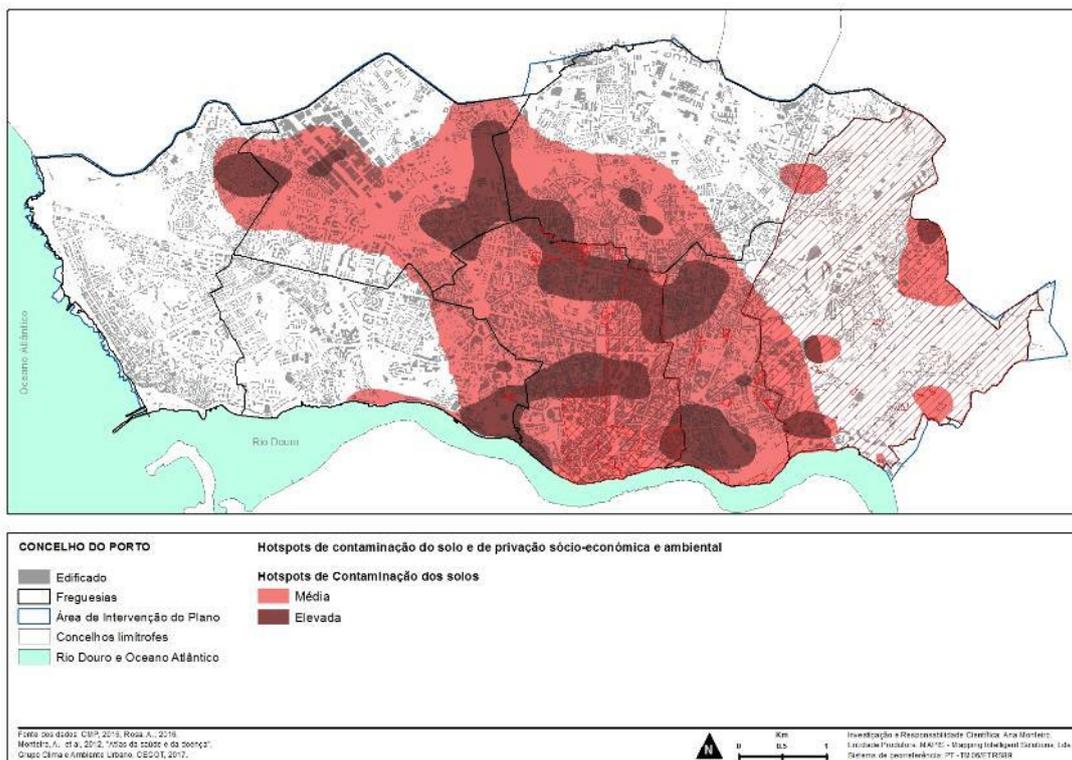
Figura 76 – Hotspots de contaminação da água e de privação sócio-económica e ambiental.



### 3.2.4. Síntese das áreas de degradação da qualidade do solo e da privação ambiental e sócio económica

Ao associar os *hotspots* de contaminação do solo com as áreas de maior privação socioeconómica (Figura 77), passa a ser mais fácil orientar o planeamento para estratégias, medidas e ações distintas e *tailored*.

Figura 77 – *Hotspots* de contaminação do solo e de privação sócio-económica e ambiental.

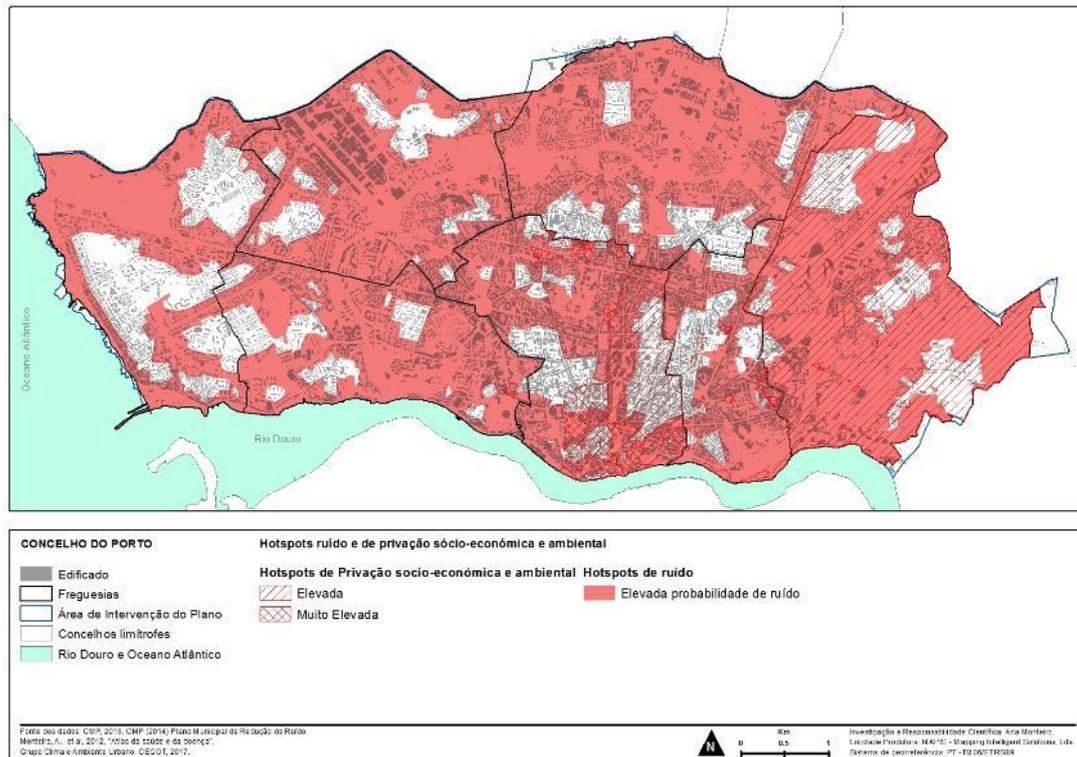


Fonte: CMP, 2016; Grupo Clima e Ambiente Urbano, CEGOT, 2017.

### 3.2.5. Síntese das áreas de ruído acima do admissível e da privação ambiental e sócio económica

Ao associar os *hotspots* de ruído com as áreas de maior privação socioeconómica (Figura 78), passa a ser mais fácil orientar o planeamento para estratégias, medidas e ações distintas e *tailored*.

**Figura 78 – Hotspots ruído e de privação sócio-económica e ambiental.**



Fonte: CMP, 2016; Grupo Clima e Ambiente Urbano, CEGOT, 2017.

## 4. Clima e Ambiente Urbano - Síntese das debilidades e fragilidades diagnosticadas

Os resultados do diagnóstico realizado ao Clima (ilhas de calor e de frescura e ventilação), qualidade do ar, da água, do solo e ruído, evidenciaram um conjunto de fraquezas relevantes e naturalmente de algumas forças importantes que discriminamos no Quadro 24 com o intuito de demonstrar a importância que concatenadas podem ter na promoção de um espaço urbano mais saudável, mais qualificado, melhor adaptado aos riscos ambientais mais prováveis, o que em linguagem comum se costuma designar de mais sustentável ambientalmente.

Começando pelas forças é muito evidente o esforço intrusivo mas pedagógico, por parte dos técnicos e decisores da área do ambiente, nas decisões sobre o território. Esta nova atitude ancorada nos novos paradigmas do século XXI é fortemente indiciadora da abertura de um novo caminho para a sustentabilidade do espaço urbano portuense. O voluntarismo empenhado e mobilizador no processo de construção da Estratégia Municipal de Adaptação às Alterações Climáticas sinalizou um marco que poderá vir a revelar-se decisivo no modus operandi do planeamento num futuro próximo.

A chamada à colação pela primeira vez deste domínio temático no processo de revisão do PDM é um testemunho da valorização deste domínio para o planeamento urbano. O facto desta área ser o segundo mais importante espaço urbano nacional é de per si também uma força incontornável tanto mais que Lisboa já há muito que iniciou o novo processo sistémico de fazer território ancorado em saberes multidisciplinares e “à medida”.

Todavia, persistem algumas fraquezas como a inexistência de informação de base adequada à escala da intraurbana, que urge colmatar no que diz respeito ao clima, à qualidade do ar e do solo. No caso da água e do ruído esse esforço já está em curso com vantagens evidentes para a tomada de decisões.

**Quadro 24 – Forças e Fraquezas no domínio do Clima e Ambiente Urbano.**

Fraquezas	Forças
1. A tendência secular de incremento da temperatura	1. A participação no projeto Climadap Local ( <a href="http://climadap-local.pt">http://climadap-local.pt</a> )
2. O aumento da frequência de eventos extremos de calor e de frio	2. A otimização da participação no Climadap Local para a preparação da estratégia municipal para a sustentabilidade
3. A evidência científica de uma relação forte entre a ocorrência de eventos térmicos extremos e a sobremortalidade e sobremorbilidade	3. A existência de um esforço de cadastro e de intervenção na qualificação da água em todo o seu ciclo urbano da empresa municipal Águas do Porto, EM
4. A falta de consideração dos indicadores de conforto bioclimático nas decisões de planeamento	4. Uma trajetória consolidada de qualificação das ribeiras e de as renaturalizar
5. A existência de várias áreas com risco muito provável de anomalias térmicas positivas de grande magnitude mas muito fragmentadas	5. A existência do projeto WAT/Water and Territories para a utilização sustentável da água no contexto da rega de espaços verdes e lavagem de ruas
6. A existência de várias áreas com risco muito provável de anomalias térmicas negativas de grande magnitude mas muito fragmentadas	6. A existência da Carta Municipal de Qualidade do Ar
7. A existência de bolsas de acumulação de ventilação fraca com anomalias térmicas positivas	7. A realização do Relatório sobre o Estado do Ordenamento do Território (REOT, 2015)
8. A existência de corredores de grande aceleração do vento	8. A reflexão interna para a elaboração da candidatura a Capital Verde da Europa 2017
9. A enorme atomização quer das ilhas de calor, quer das ilhas de frescura, quer dos corredores de aceleração e travagem do vento	9. Uma rotina estabelecida no desenvolvimento de programas de informação e sensibilização ambiental
10. Um aumento do número de idosos e sobretudo de idosos isolados	10. A existência de um Plano Municipal de Redução de Ruído (PMRR, 2014) atualizado
11. Grande número de edifícios degradados e desconfortáveis bioclimaticamente	11. A presença no concelho de massa crítica no domínio da investigação em climatologia e ambiente urbano (ex: Universidade do Porto)
12. Escassez de rendimento para a utilização de aquecimento e arrefecimento artificial indoor	12. A existência de espaços verdes públicos de grande dimensão e a construção do Parque Oriental
13. A existência de várias áreas com risco muito provável de elevada degradação da qualidade do ar ao nível do solo	13. A existência de algumas "bolsas de silêncio"
14. Algumas excedências nas estações QualAr nas PM10 e NO	
15. Uma excessiva percentagem de solo impermeável	
16. A existência de diversos indícios de contaminação dos solos	
17. A existência de várias áreas com risco muito provável de elevada degradação do solo	
18. A existência de diversos pontos de água contaminada	
19. A existência de várias áreas com risco muito provável de elevada degradação da qualidade do água	
20. A existência de um número excessivo de cursos de água entubados.	
21. A persistência de algumas bolsas com níveis de ruído inadmissíveis	
22. A falta de conectividade entre as várias tipologias de espaços verdes	
23. A falta de aproveitamento na sua plenitude dos vários serviços e infraestruturas verdes já criados.	
24. A deficiente rede de transportes públicos	
25. O uso excessivo do transporte privado	
26. A escassez de áreas pedonais per capita	

## 5. Indicadores de monitorização.

A Matriz de Indicadores que elaboramos teve em linha de conta Norma ISO 37120:2014 para a Certificação da Qualidade de Vida Urbana e os resultados do diagnóstico efetuado à componente Clima e Ambiente Urbano no Porto. Seleccionamos exclusivamente aqueles que consideramos os indicadores chave.

**Dimensão de análise** - Clima Urbano (Ilhas de calor, Ilhas de frescura, Contrastes térmicos, Corredores de ventilação)

### **Indicadores Prioritários:**

- 1 - Temperatura média, mínima e máxima na estação climatológica de referência / 5 anos (unidade de medida: °C/ano; fornecedor da informação: IGUP (Universidade do Porto));
- 2 – Índice anual de Conforto bioclimático (PET) outdoor nas áreas-problema (unidade de medida: °C/ano; fornecedor da informação: IGUP (Universidade do Porto));
- 3 - Número de internamentos relacionados com riscos climáticos (eventos extremos de temperatura e vento) por 100.000 habitantes/ano (unidade de medida: Nº/ano; fornecedor da informação: ACSS e IGUP (Universidade do Porto));
- 4 - Número de mortes relacionadas com riscos climáticos (eventos extremos de temperatura e vento) por 100.000 habitantes/ano (unidade de medida: Nº/ano; fornecedor da informação: ACSS e IGUP (Universidade do Porto));
- 5 – Percentagem de área pedonal (unidade de medida: %/m<sup>2</sup>/ha/ano; fornecedor da informação: CMP);

### **Indicadores Recomendados:**

- 1 – Número de ciclovias (unidade de medida: km/ha/ano; fornecedor da informação: CMP);
- 2 – Número de fontanários nas áreas-problema (unidade de medida: Nº/ano; fornecedor da informação: CMP e Águas do Porto);
- 3 – Área de sombreamento nas áreas-problema/ano (unidade de medida: m<sup>2</sup>/ha/ano; fornecedor da informação: CMP);
- 4 – Área de espaços verdes públicos exteriores de recreio e lazer per capita (unidade de medida: m<sup>2</sup>/hab./ano; fornecedor da informação: CMP);
- 5 – Área de espaços verdes públicos/ área da cidade (unidade de medida: m<sup>2</sup>/ha/ano; fornecedor da informação: CMP);
- 6 – Conectividades no espaço verde (unidade de medida: km/ano; fornecedor da informação: CMP);

- 7 – Taxa de variação percentual em número de espécies nativas (unidade de medida: %/ano; fornecedor da informação: CMP);
- 8 – Número de árvores por 100.000 habitantes (unidade de medida: N°/ano/100000hab; fornecedor da informação: CMP);
- 9 – Áreas verdes públicas (unidade de medida: m2/ano; fornecedor da informação: CMP);
- 10 – Áreas destinadas a espaços verdes de utilização pública. (unidade de medida: m2/ano; fornecedor da informação: CMP);
- 11 – Área de telhados verdes/ano (unidade de medida: m2/ano; fornecedor da informação: CMP);
- 12 – Área de fachadas verdes/ano (unidade de medida: m2/ano; fornecedor da informação: CMP).

#### **Dimensão de análise - Qualidade do ar**

##### **Indicadores Prioritários:**

- 1 – Concentração de partículas finas (PM 2.5) no canopy layer (unidade de medida: N° dias acima do valor limite (UE)/ano; fornecedor da informação: CMP);
- 2 – Concentração de partículas em suspensão (PM 10) no canopy layer (unidade de medida: N° dias acima do valor limite (UE)/ano; fornecedor da informação: CMP);
- 3 – Concentração de NO<sub>2</sub> (dióxido de azoto) no canopy layer (unidade de medida: N° dias acima do valor limite (UE)/ano; fornecedor da informação: CMP);
- 4 – Concentração de SO<sub>2</sub> (dióxido de enxofre) no canopy layer (unidade de medida: N° dias acima do valor limite (UE)/ano; fornecedor da informação: CMP);
- 5 – Concentração de O<sub>3</sub> (ozono) no canopy layer (unidade de medida: N° dias acima do valor limite (UE)/ano; fornecedor da informação: CMP);
- 6 – Emissões de gases com efeito de estufa (unidade de medida: ton/hab.; fornecedor da informação: CMP);
- 7 – Número de veículos em circulação/ano (unidade de medida: N°/ano; fornecedor da informação: CMP).

**Dimensão de análise - Qualidade do solo****Indicadores Prioritários:**

- 1 – Percentagem de área de solo permeável/ano (unidade de medida: %/ha/ano; fornecedor da informação: CMP);
- 2 – Número de focos de contaminação (unidade de medida: Nº/ano; fornecedor da informação: CMP).

**Dimensão de análise - Qualidade da água****Indicadores Prioritários:**

- 1 – Área de cursos de água e margens artificializados (unidade de medida: m2/ha/ano; fornecedor da informação: CMP);
- 2 – Número de focos de contaminação (unidade de medida: Nº/ano; fornecedor da informação: CMP);
- 3 – Número de pontos contaminados por Carência Química de Oxigénio (unidade de medida: Nº/ano; fornecedor da informação: CMP);
- 4 – Número de pontos contaminados por Coliformes fecais (unidade de medida: %/ano; fornecedor da informação: CMP).

**Dimensão de análise – Ruído****Indicadores Prioritários:**

- 1 – Área afetada por níveis sonoros acima dos limites legais/ano (unidade de medida: m2/ano; fornecedor da informação: CMP);
- 2 – Número de residentes afetados por níveis sonoros acima dos limites legais/ano (unidade de medida: Nº/ano; fornecedor da informação: CMP);
- 3 – Número de queixas recebidas relativas a ruído/ano (unidade de medida: Nº/ano; fornecedor da informação: CMP).

## 6. Bibliografia.

Águas do Porto (2015). 2.<sup>a</sup> revisão do Plano Diretor Municipal do Porto: contributo da Águas do Porto, EM. Relatório Técnico.

Albuquerque, M., Coutinho, M., & Borrego, C. (2016). Long-term monitoring and seasonal analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) measured over a decade in the ambient air of Porto, Portugal. *Science of the Total Environment*, 543: 439-448.

Amorim, M., Dubreuil, V. (2016b). As diferenças das temperaturas dos alvos diagnosticadas por meio de imagens termais do satélite Landsat 8 em período seco e chuvoso em ambiente tropical. *Variabilidade e susceptibilidade climática: Implicações Ecológicas e Sociais*. Goiânia (GO)/UFG.

Amorim, M., Monteiro, M. (2016a). Contextos bioclimáticos nos bairros sociais do Porto oriental: contribuições do sensoriamento remoto na análise das temperaturas de superfície. Livro de Atas da Conferência Internacional de Riscos Urbanos - ICUR2016: 565-573.

Amorim, J. H. et al. (2013). CFD modelling of the aerodynamic effect of trees on urban air pollution dispersion. *Science of the Total Environment* 461: 541-551.

Amorim, J. H. et al. (2013). Pedestrian Exposure to Air Pollution in Cities: Modeling the Effect of Roadside Trees. *Advances in Meteorology*.

Barros, N, Fontes, T. (2011). Mobilidade e qualidade do ar: O caso da cidade do Porto. Em "Novas dimensões do consumo na sociedade contemporânea", ed. Hernâni Veloso Neto e Sandra Lima Coelho, 131 - 154. ISBN: 978-972-97763-1-1. Porto, FLUP.

Barros, N., Fontes, T. (2007). Modelação da qualidade do ar da cidade do Porto. Relatório Técnico.

Barros, N. et al. (2004-2006). Projecto IMPACTAIR - Impacte na qualidade do ar e na saúde pública das grandes linhas de tráfego: o caso da vci.

Barros, N. et al. (2003). Urban photochemical pollution in the Iberian Peninsula: Lisbon and Barcelona airsheds. *Journal of the Air & Waste Management Association* 53(3): 347-359.

Balkestahl, L. (2014). A ilha de calor urbano e o contexto sinóptico: Topoclima urbano - domínio ou sujeição. Tese de Doutoramento. Faculdade de Letras da Universidade do Porto.

Balkestahl, L. (2005). Os efeitos da intensificação dos processos de urbanização no balanço energético local: Estudo de caso no pólo da Asprela. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Letras da Universidade do Porto.

Borrego, C., et al. (2016). Urban scale air quality modelling using detailed traffic emissions estimates. *Atmospheric Environment* 131: 341-351.

- Borrego, C., et al. (2016). Air quality plan for ozone: an urgent need for North Portugal. *Air Quality Atmosphere and Health* 9(5): 447-460.
- Borrego, C., et al. (2012). Reducing NO<sub>2</sub> Pollution over Urban Areas: Air Quality Modelling as a Fundamental Management Tool. *Water Air and Soil Pollution* 223(8): 5307-5320.
- Borrego, C., Miranda, A.I, Coelho, D., Monteiro, A., Sá, E., Dias, D., Carvalho, A. (2011). Plano da Qualidade do Ar da Região Norte – NO<sub>2</sub>. IDAD e Departamento de Ambiente da Universidade de Aveiro, Portugal.
- Borrego, C., et al. (2007). Air quality impact due to scrap-metal handling on a sea port: A wind tunnel experiment. *Atmospheric Environment* 41(30): 6396-6405.
- Borrego, C., et al. (2000). Importance of handling organic atmospheric pollutants for assessing air quality. *Journal of Chromatography A* 889(1-2): 271-279.
- Borrego, C. (1993). Water, Air and Soil Pollution Problems in Portugal. *Science of the Total Environment* 129(1-2): 55-70.
- Coelho, A. et. al (2013). Temperatura de superfície do sensor TIRS/LANSAT-8: Metodologia e aplicações. *Ver. Geogr. Académica* 1(7):31-45.
- Duque, L. et al. (2016). Evaluating strategies to reduce urban air pollution. *Atmospheric Environment* 127: 196-204.
- Daveau, S. et al (1988). *Geografia de Portugal – O Ritmo Climático e a Paisagem*, Edições João Sá da Costa, Lisboa.
- Esteves, F. (2011). O contributo dos SIG para compreender a relação entre os episódios extremos de temperatura e de variabilidade térmica na época de transição primavera – verão e a ocorrência de enfartes de miocárdio no concelho do Porto. Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Ordenamento do Território. Departamento de Geografia, Faculdade de Letras da Universidade do Porto.
- Ferreira, F., Maciel, H., Barbedo, P., Pereira, P. (2014). Inventário de emissões de poluentes atmosféricos na região Norte - Relatório Final elaborado no âmbito do Protocolo de colaboração estabelecido entre a CCDR Norte e a FCT/UNL.
- Fontes, T., Barros, Nelson A. C. A. (2007). Inventário de Emissões para a Cidade do Porto. *Revista da Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade Fernando Pessoa*, 4: 28 - 37.
- Góis, J. (2004). Contribuição dos modelos estocásticos para o estudo da climatologia urbana. Tese de Doutoramento, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Höppe P (1999) The physiological equivalent temperature - a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *International Journal of Biometeorology*, 43(2): 71–5. doi:10.1007/s004840050118
- ISO (2014). Sustainable development of communities — Indicators for city services and quality of life - ISO 37120:2014 (en). ISO/TC 268 Sustainable cities and communities. ICS : 13.020.20

Environmental economics. Sustainability.

Madureira, H., Andresen, T., Monteiro, A. (2011). Green structure and planning evolution in Porto. *Urban Forestry & Urban Greening*, vol. 10 (2) : 141-149 (IF : 1.632).

Madureira, H; Andresen, T. (2014). Planning for multifunctional urban green infrastructures. *URBAN DESIGN International* 19: 38–49. doi:10.1057/udi.2013.11 (IF : 0.455).

Marques, P. F., Fernandes, C., Guilherme, F., Lameiras, Alves, P., Bunce, B. (2015). Morphology & Biodiversity in the Urban Green Spaces of the City of Porto. Book II - Habitat Mapping and Characterization. Vairão: CIBIO,UP. PTDC/AUR-URB/104044/2008.

Marques, R., Barros, N. A. C. A, Fontes, T. (2007). Avaliação do desempenho do modelo de qualidade do ar, e-CALINE4 e aplicação ao caso de estudo da VCI, Porto. Actas da IX Conferência Nacional de Ambiente. 18-20 de Abril, Aveiro, Portugal.

Matzarakis A, Mayer H, Iziomon MG (1999) Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature. *International Journal of Biometeorology*, 43(2): 76-84. doi:10.1007/s004840050119

Monteiro, A., Velho, S. (2014). Health heat stress in Porto Metropolitan Area- a matter of temperature or (in)adaptation?. *Die Erde*, No. 145, vol. 1-2: 80-95. DOI information: 10.12854/erde-145-7.

Monteiro, A., Carvalho, V. (2013d). Clima e Planejamento Regional. Em “Climatologia urbana e regional (Questões teóricas e estudos de caso)”, Editora Outras Expressões, Brasil, São Paulo. P. 93-116. ISBN: 978-85-644-21-46-2.

Monteiro, A., Almeida, M., Velho, S., Fonseca, L. (2013c). A (in)eficácia das políticas europeias e nacionais para prevenir os riscos causados pelas manifestações de mudança climática nos espaços urbanos. *Revista da Faculdade de Letras, Geografia. III série*, 2013, vol. I: 45 -58. Universidade do Porto.

Monteiro, A., Carvalho, V. (2013b). Uma abordagem metodológica para avaliação de eventos climáticos extremos. Em “Climatologia urbana e regional (Questões teóricas e estudos de caso)”, Editora Outras Expressões, Brasil, São Paulo.

Monteiro, A., Carvalho, V., Velho, S., Sousa, C. (2013a). The accuracy of heat index to explain the excess of mortality and morbidity during heat waves – a case study in a Mediterranean climate. *Bulletin of Geography. Socio-economic Series* No. 20: 71–84.

Monteiro, A. et al. (2012c). Atlas da saúde e da doença – vulnerabilidades climáticas e socioeconómicas na Grande Área Metropolitana do Porto e Concelho do Porto. Volumes I e II. Porto. Projeto PTDC/SAU-ESA/73016-2006.

Monteiro, A., Velho, S., Góis, J. (2012b). A importância da fragmentação das paisagens urbanas na Grande Área Metropolitana do Porto para a modelização das ilhas de calor urbano – uma abordagem metodológica. *Revista de Geografia da Faculdade de Letras, série III*, 1. Universidade do Porto.

Monteiro, A., Madureira, H. (2012a). El clima urbano de Oporto. Oportunidad para repensar la sustentabilidad del territorio y retomar los ritmos de la naturaleza. Libro coletivo Hábitat sustentable, Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), México.

Monteiro, A. (2006). A Climatologia Urbana enquanto indicador de sustentabilidade urbana - estudos de caso na Área Metropolitana do Porto. Atas do II Congresso Luso-Brasileiro - PLURIS 2006 - para o Planeamento Urbano, Regional Integrado e Sustentável, Campus de Gualtar, Universidade Minho, 27 a 29 de setembro, p. 13 (Versão Digital).

Monteiro, A. et al., (2000), "CLIAS - Exemplos de agravamento de algumas patologias do foro respiratório, relacionáveis com as modificações introduzidas pela urbanização portuense na conjuntura climática e na composição química da atmosfera", F.C.T., PRAXIS XXI, PCSH /GEO/198/96, Porto, 2000.

Monteiro, A. (1999b). Clima-Qualidade do ar-Saúde: um nexos de causalidade (in) desejável para o Homem?. Revista da Faculdade de Letras, Geografia. I Série, 1996/97, vol. XII/XIII: 39-71. Faculdade de Letras da Universidade do Porto.

Monteiro, A. (1999a). Poluição atmosférica no Porto: algumas histórias por contar. Actas do Seminário: Qualidade do Ambiente urbano: 47-85. C.C.R.N., Fundação Cupertino de Miranda, Porto.

Monteiro, A. (1997). O clima urbano do Porto - Contribuição para a definição das estratégias de planeamento e ordenamento do território: Fundação Calouste Gulbenkian - Junta Nacional de Investigação Científica e Tecnológica.

Monteiro, A. (1989). A composição química da atmosfera: contributo da climatologia para a implementação de uma política de desenvolvimento sustentado. Em Notas e Recensões, Revista da Faculdade de Letras, Geografia, I Série, vol.V: 257-272. Universidade do Porto.

Monteiro, A. (1989). Contribuição para o estudo da degradação da qualidade do ar na cidade do Porto. Revista da Faculdade de Letras, Geografia, I Série, vol. V: 5-30, Universidade do Porto.

Moreira, M. (2011). Os contextos biofísico e socioeconómico portuenses e o agravamento da saúde de indivíduos com AVC, Dispneia & Asma e Dor Torácica, expresso pelas entradas diárias na urgência do HGSA (2005-2008). Mestrado em Riscos, Cidades e Ordenamento do Território. Departamento de Geografia, Faculdade de Letras da Universidade do Porto.

PMRR (2014). Plano Municipal de Redução do Ruído. Documento Técnico. Câmara Municipal do Porto. NI&DEA, FEUP.

REOT (2015). Relatório sobre o Estado do Ordenamento do Território. Direção Municipal de Planeamento Urbano, Divisão Municipal de Planeamento e Ordenamento do Território. Câmara Municipal do Porto. Junho.

Rosa, A. (2016). Contributos dos Modelos Geomatemáticos no Estudo da Dispersão Espacial de Metais Pesados em Solos Urbanos. Dissertação de mestrado. Engenharia de Minas e Geo-Ambiente, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Silva, V. (2012). Vulnerabilidades socioeconómicas e ambientais em episódios térmicos extremos". Mestrado em Riscos, Cidades e Ordenamento do Território. Departamento de Geografia, Faculdade de Letras da Universidade do Porto.

Thorsson, S., Rayner, D., Lindberg, F., Monteiro, A., Katschner, L., Lau, K. K., Campe, S., Katschener, A., Konarska, J., Onomura, S., Velho, S., Holmer, B (2017). Present and projected future mean radiant temperature for three European cities. International Journal of Biometeorology: 1-13. DOI: 10.1007/s00484-017-1332-2.

Vieira, N. (2009). Qualidade Química e Bacteriológica das Águas das Ribeiras do Porto. Dissertação de Mestrado. Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro.

## **LEGISLAÇÃO**

Decreto-Lei n.º 102/2010, de 23 de setembro. DR n.º 186, Série I

Decreto-lei n.º 278/2007, de 1 de agosto

Lei n.º 54/2005, de 15 de novembro

Diretiva n.º 2000/60/CE, de 23 de outubro

Decreto-Lei n.º 208/2008, de 28 de outubro

Decreto-Lei n.º 77/2006, de 30 de março

Decreto-Lei n.º 135/2009, de 3 de junho

Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de agosto

Decreto-Lei n.º 306/2007, de 27 de agosto

Decreto-Lei n.º 226-A/2007, de 31 de maio

Decreto-Lei n.º 172/2009, de 3 de agosto

Portaria n.º 702/2009, de 6 de junho

Portaria n.º 1030/93, de 14 de outubro

Decreto Regulamentar n.º 23/95, de 23 de agosto

Decreto-Lei n.º 198/2008, de 8 de outubro

Decreto-Lei n.º 103/2010, de 24 de setembro

Decreto-Lei n.º 83/2011, de 20 de Junho

Diretiva 2013/51/euratom do conselho

---

**SITES**

Agência Portuguesa do Ambiente :

<http://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=7&sub2ref=15&sub3ref=93>

Base de dados online sobre a qualidade do ar:

<http://qualar.apambiente.pt/>

Empresa Portuguesa das Águas Livres:

<http://www.epal.pt/EPAL/menu/%C3%A1qua/controlo-da-qualidade-da-%C3%A1qua/legisla%C3%A7%C3%A3o-aplic%C3%A1vel>

Freemeteo – Aquisição dos dados climáticos da estação de Porto-Pedras Rubras do ano de 2016.

Site oficial: <http://freemeteo.com.pt>

USGS - Geological Survey / Serviço de Levantamento Geológico Americano (2013). Aquisição de imagens orbitais digitais gratuitas do satélite Landsat-8:

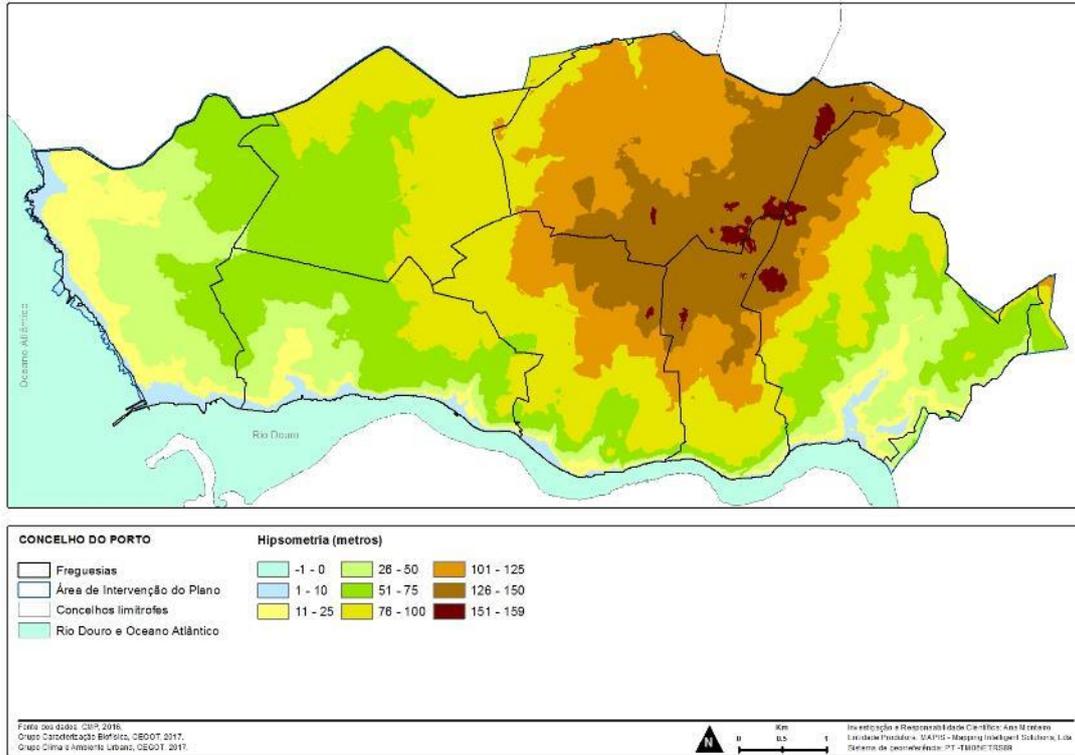
<https://earthexplorer.usgs.gov/>



## 7. Anexos

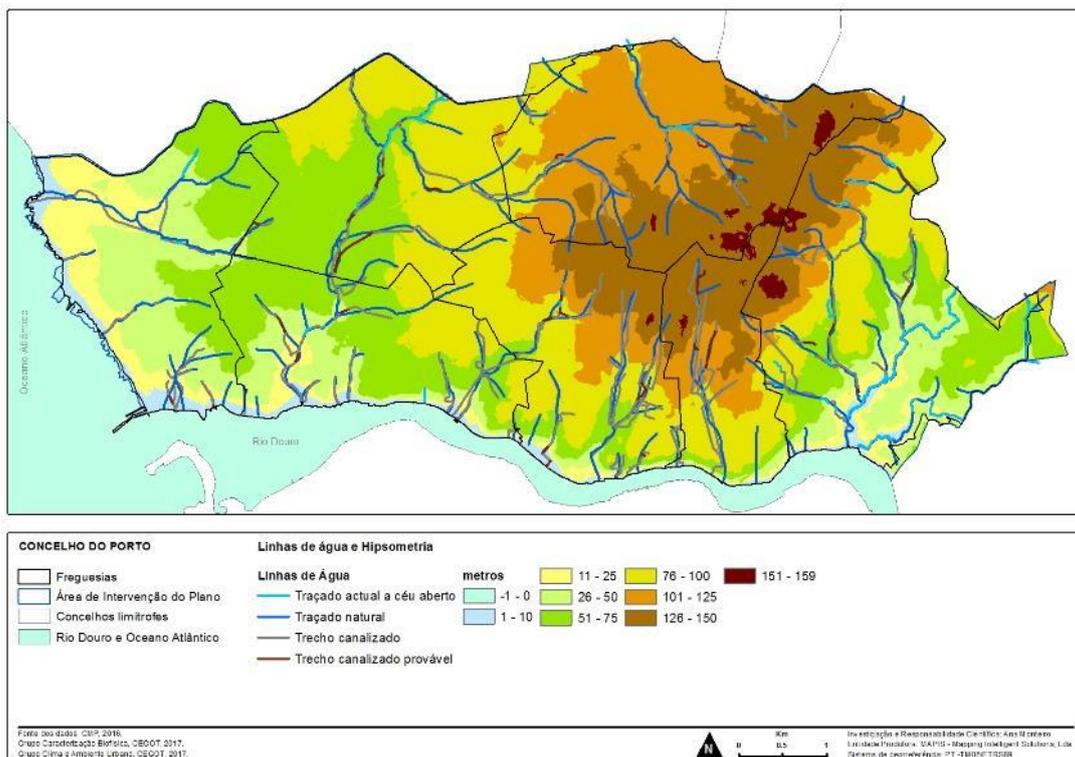
## ANEXO I – Informação de base.

Figura IB 1 - Modelo digital de superfície.



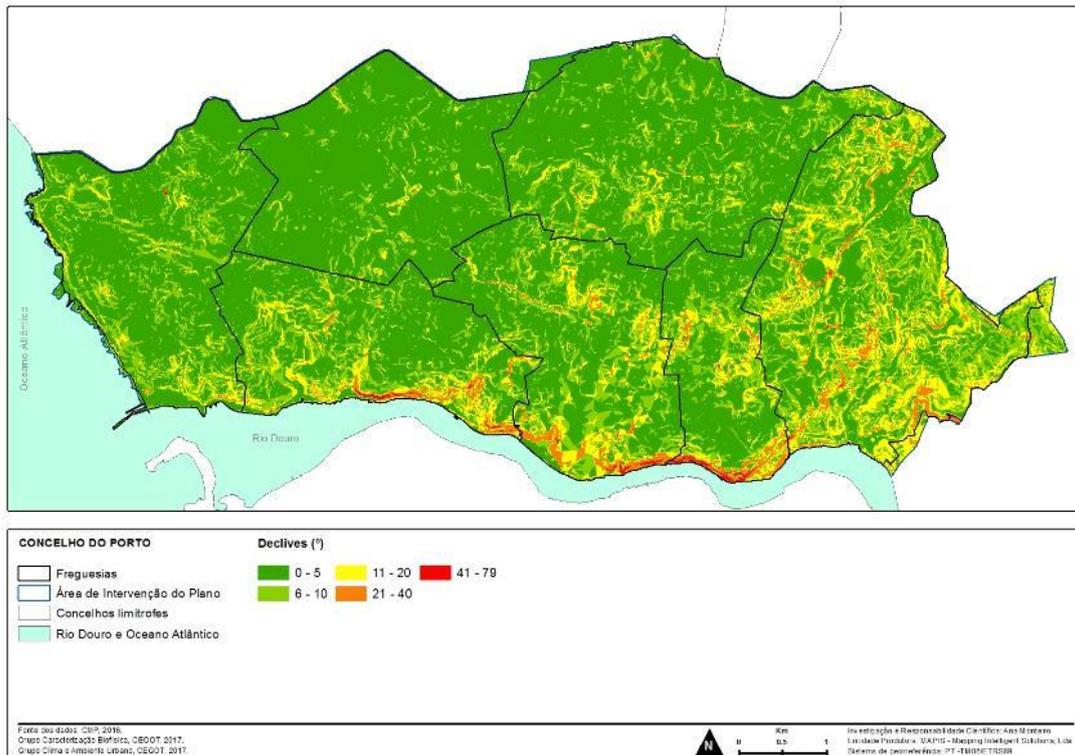
Fonte: CMP, 2016.

Figura IB 2 - Cursos de água.



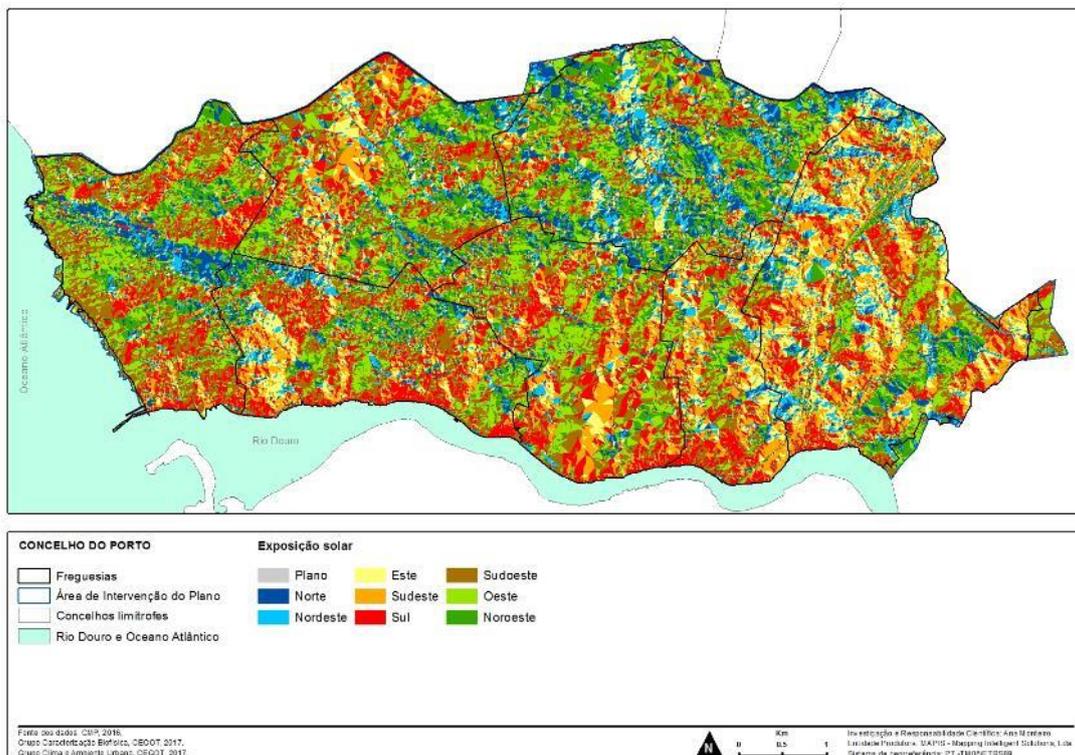
Fonte: CMP, 2016.

Figura IB 3 - Declives.



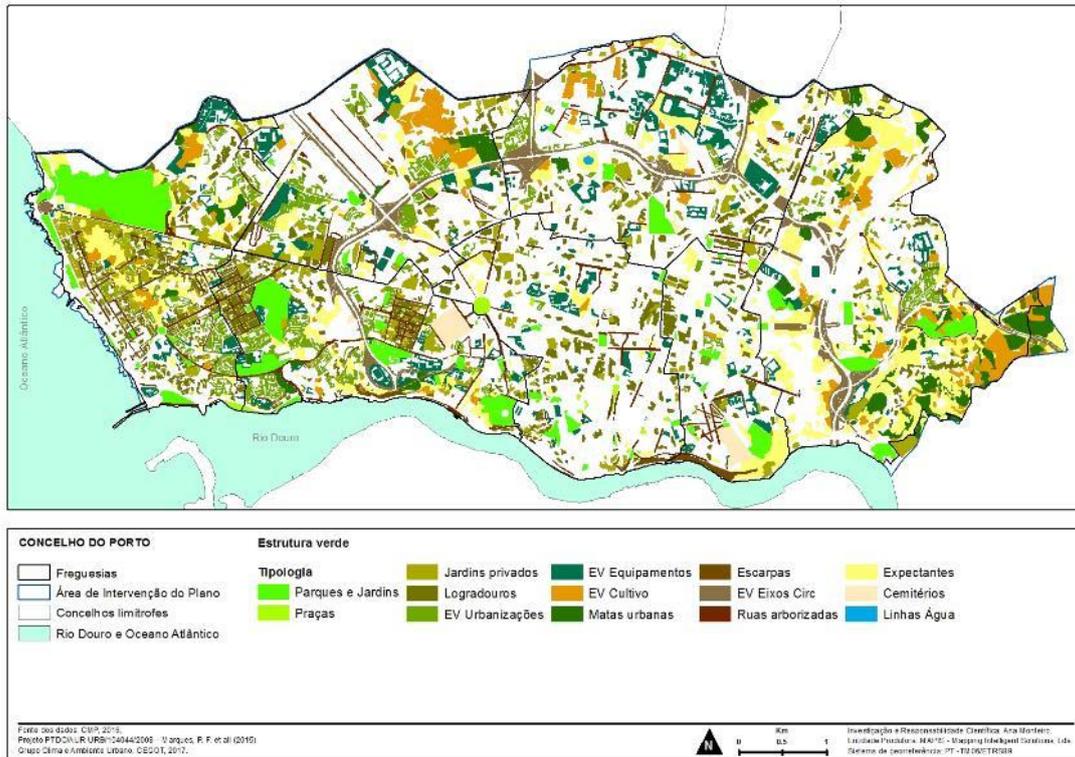
Fonte: CMP, 2016.

Figura IB 4 - Exposição das vertentes.



Fonte: CMP, 2016.

Figura IB 5 - Estrutura verde.



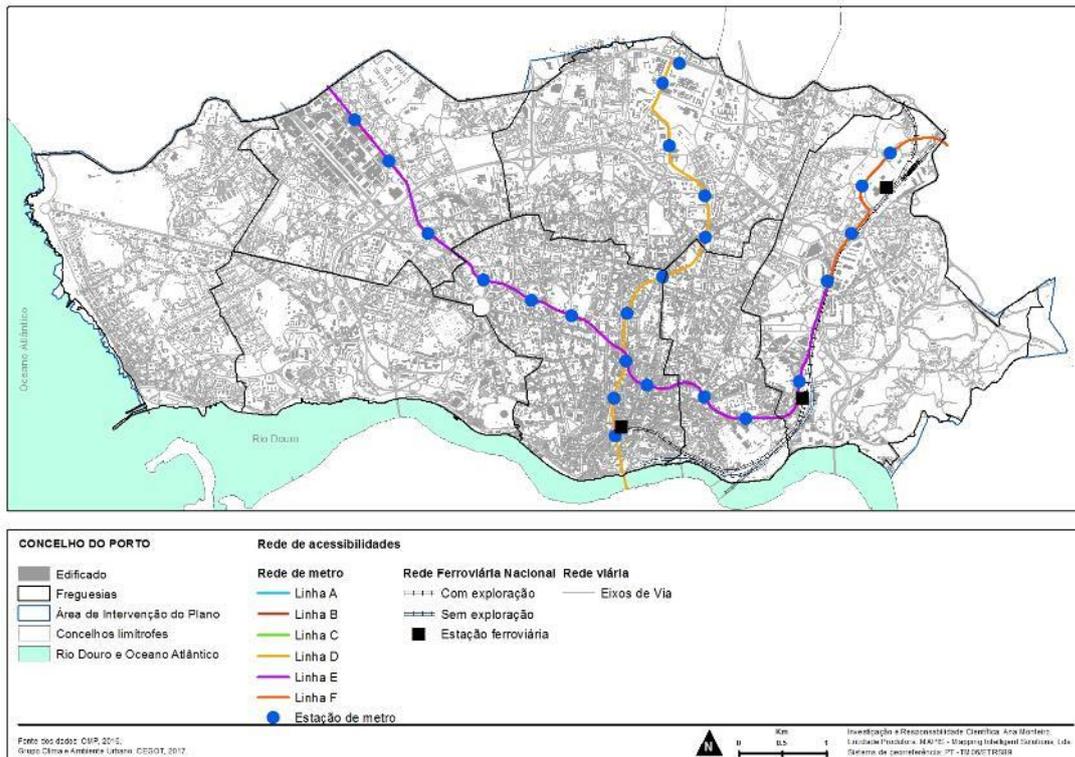
Fonte: CMP, 2016; Marques et al., 2015.

Figura IB 6 - Arvoredo e áreas verdes.



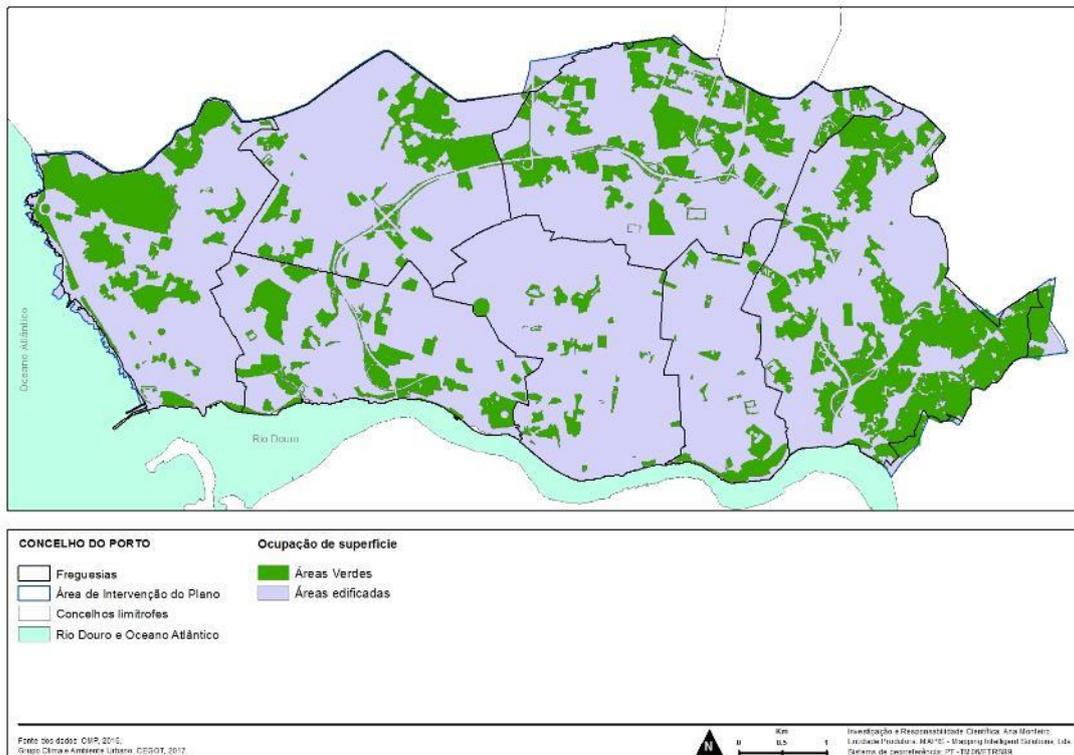
Fonte: CMP, 2016.

Figura IB 7 - Mapa da rede de acessibilidades.



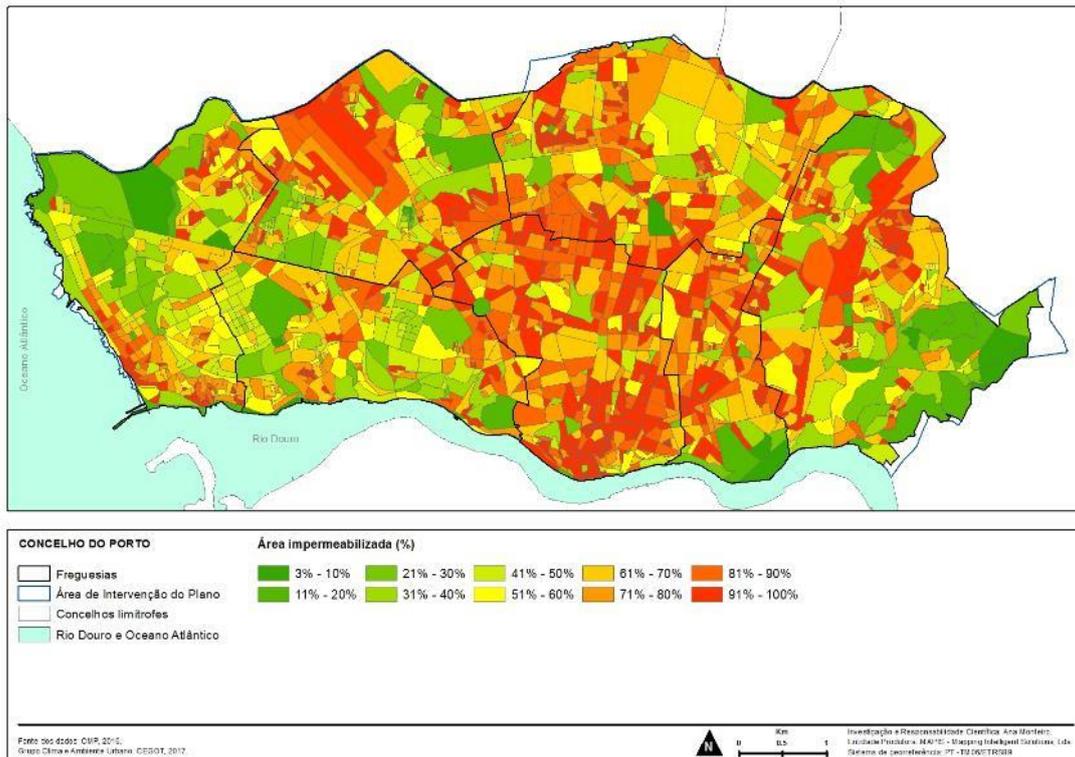
Fonte: CMP, 2016.

Figura IB 8 - Área edificada e área verde.



Fonte: CMP, 2016.

Figura IB 9 - Área impermeabilizada por subsecção estatística.



Fonte: CMP, 2016; Grupo Clima e Ambiente Urbano, CEGOT.

***Equipa técnica***



Ana Monteiro (coordenação)

Helena Madureira

Luís Fonseca

Sara Velho

Direção Municipal de Urbanismo  
Departamento Municipal de Planeamento Urbano  
*Divisão Municipal de Planeamento e Ordenamento do Território*  
Contacto: [dmpot@cm-porto.pt](mailto:dmpot@cm-porto.pt)

