

Clima Urbano de Bragança



Unión Europea
FEDER
Invertimos en su futuro



Ficha Técnica

Análisis del Clima Urbano de Bragança

Proyecto “BIOURB”/POCTEP-UE; Socios: CMB, CIDAUT, EREN, ICCL, IPB, AT y CMM

EDICIÓN ONLINE

Instituto Politécnico de Bragança

COORDENACIÓN EDITORIAL

Artur Gonçalves (Instituto Politécnico de Bragança y Centro de Investigación de la Montaña)

REDACCIÓN

Artur Gonçalves, António Castro Ribeiro, Manuel Feliciano y Filipe Maia

SUPORTE TÉCNICO

Arsénio Araújo y Miguel Vaz Pinto

ISBN

XXXX

2014

*Proyecto “**BIOURB** – Diversidad bioconstructiva transfronteriza, edificación bioclimática y su adaptación a la arquitectura y urbanismo moderno.”*

Se enmarca dentro del Programa de Cooperación Transfronteriza España - Portugal que se desarrolla con el apoyo de la UE y la cofinanciación comunitaria del FEDER y el POCTEP.

Índice Geral

ÍNDICE DE FIGURAS	4
ÍNDICE DE TABLAS.....	6
1 LA CIUDAD DE BRAGANÇA Y SU CONTEXTO CLIMÁTICO	7
1.1 Contexto Climático	9
1.1.1 O ambiente térmico	9
1.1.2 Distribución de la precipitación	11
1.1.3 Radiación solar e insolación	12
1.1.4 Régimen de vientos.....	13
1.1.5 Balance hídrico del suelo	15
1.1.6 Clasificación climática	16
2 MONITOREO CLIMÁTICO	17
2.1 Red de Monitoreo Meteorológica	17
2.1.1 Red de estaciones meteorológicas automáticas.....	17
2.1.2 Red de medición de la temperatura, humedad relativa del aire, velocidad y dirección del viento.	17
2.2 Caracterización de los locales de monitoreo.....	20
3 RESULTADOS.....	22
3.1 Análisis de datos.....	22
3.2 Efecto de isla de calor	23
3.3 Análisis de la velocidad y dirección del viento	27
3.4 Mapas de Isolineas	30
3.4.1 Isolineas de temperatura	30
3.4.2 Isolineas de humedad relativa	33
4 MAPEO DEL CLIMA URBANO	36
4.1 Carga Térmica Potencial	37
4.1.1 Fracción del suelo ocupada por Superficies Artificiales	37
4.1.2 Volumetría del edificado.....	38
4.1.3 Áreas verdes (Potencial de enfriamiento)	39
4.1.4 Mapa de síntesis	40

4.2	Factores Dinámicos Potenciales.....	41
4.2.1	Análisis topográfico.....	41
4.2.2	Rugosidad.....	43
4.2.3	Representación del viento	44
4.2.4	Mapa de Síntesis	44
4.3	Mapa de Síntesis Climática	45
4.4	Definición de Estrategias de Intervención.....	47
4.4.1	Medidas sobre los efectos dinámicos	48
4.4.2	Comportamiento térmico del espacio urbano.....	51
5	CONSIDERACIONES FINALES	53

Índice de Figuras

Figura 1 - Enmarque geográfico de Bragança.	7
Figura 2 – Altitud en el entorno de la ciudad de Bragança	8
Figura 3 – Evolución de la población de la ciudad y del municipio de Bragança en base a los datos de los censos poblacionales (1911, 1940, 1960, 1970, 1981, 1991, 2001 y 2011)	8
Figura 4 - Amplitud térmica (columna) y valores absolutos de las temperaturas máxima y mínima (extremos de la línea vertical) para Bragança, en el período 1971-2000.	10
Figura 5 - Número medio de días con temperatura mínima del aire inferior a 0°C, temperatura mínima superior a 20°C y temperatura máxima superior a 25°C, en Bragança, en el período 1971-2000.....	10
Figura 6 - Valores medios de la precipitación en Bragança en el período 1971-2000. Las columnas representan la precipitación media acumulada y las líneas representan el número de días con precipitación igual o superior a 0,1 mm (-●-), con precipitación igual o superior a 1,0 mm (-▼-) y con precipitación igual o superior a 10 mm (-■-).	11
Figura 7 - Radiación solar media ($\text{MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$) en Bragança en el período 1971-2000	12
Figura 8 - Insolación, en horas de cielo limpio (columnas) y en porcentaje (-x-) y número medio de días con un porcentaje de insolación igual a 0 (-◆-), inferior a 20 (-▼-) y superior a 80 (-■-).	12
Figura 9 - Velocidad media del viento y frecuencia anual por rumbo en Bragança, en el período 1971-1997.....	13
Figura 10 - Velocidad media del viento y frecuencia por rumbo para los varios meses del año en Bragança, en el período 1971-1997	14
Figura 11 - Variación mensual de los valores medios de la temperatura máxima y mínima, de la humedad relativa (◆) y distribución de la precipitación al longo del año. Las columnas representan la precipitación mensual y la banda representa la amplitud entre los valores medios mensuales de la temperatura máxima y mínima.	15
Figura 12 - Balance hídrico del suelo para una capacidad utilizable de 100 mm/m (ΔA – variación del almacenamiento de agua en el suelo; E_{Tr} – evapotranspiración real)	15
Figura 13 - Estaciones Meteorológicas Automáticas de la red de monitorización del clima de la ciudad de Bragança	17
Figura 14 - Locales con monitorización de la temperatura y humedad relativa (A); detalle del sistema de medición sin el abrigo (B).....	18

Figura 15 - Locales con monitorización de la temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección del viento.	18
Figura 16 – Distribución de los puntos de monitoreo climático	19
Figura 17 - Gráfico de la variación mensual de la precipitación y de las temperaturas medias, máximas y mínimas para el período de estudio (Maia, 2013)	23
Figura 18 – Diagrama de caja relativo a las diferencias máximas entre las temperaturas de las diversas ZCL y la zona rural (RUR) en las diferentes estaciones del año.....	24
Figura 19 - Variación horaria y mensual de la intensidad media del EICU: a) $\Delta T_{PMA-ZRE}$; b) $\Delta T_{BDT-ZRE}$; c) $\Delta T_{UMR-ZRE}$; d) $\Delta T_{ZCS-ZRE}$; e) $\Delta T_{EVU-ZRE}$; f) $\Delta T_{TUR-ZRE}$. Fuente: Maia (2013).	26
Figura 20 – Gráficos de vientos para la estación de referencia. Datos anuales y por estación del año.....	28
Figura 21 – Gráficos de vientos para el punto 7	28
Figura 22 – Gráficos de vientos para el punto 6	29
Figura 23 – Gráfico de vientos para el punto 12	29
Figura 24 – Isolíneas de medias de las temperaturas mínimas diarias, por estaciones del año. .	31
Figura 25 – Isolíneas de medias de las temperaturas máximas diarias, por estaciones del año..	32
Figura 26 – Isolíneas de medias para la humedad relativa máxima diaria, por estaciones del año.	34
Figura 27 – Isolíneas de medias para la humedad relativa mínima diaria, por estaciones del año.	35
Figura 28 – Zonas climáticas locales de Bragança y la localización de los sensores de temperatura y humedad.....	36
Figura 29 – Fracción del suelo ocupada por Superficies Artificiales, en porcentaje.....	37
Figura 30 – Índice Volumétrico (metros)	38
Figura 31 – Potencial efecto de la vegetación en la atenuación de la acumulación de calor.....	39
Figura 32 – Carga térmica potencial	40
Figura 33 – Zonas de acumulación de masas de aire frío en los fondos de valle y en los espacios iniciales de sus laderas	42
Figura 34 – Zonas de cumbres (o cimas) y primeras laderas en el sentido descendiente.....	43
Figura 35 – Mapas de Síntesis de los Factores Dinámicos	45

Figura 36 – Mapa de análisis Climática 46

Figura 37 – Mapa de Recomendaciones 48

Índice de Tablas

Tabla 1– Zonas Climáticas locales (ZCL) 21

Tabla 2- Características del local de cada sensor 21

Tabla 3 - Datos estadísticos estacionales para las diferencias registradas entre las diferentes ZCL y la ZRE..... 25

1 La ciudad de Bragança y su contexto Climático

La ciudad de Bragança se sitúa en el extremo Nordeste de Portugal continental, ladeada a norte por la Sierra de Montesinho y a oeste por la Serra de la Nogueira (**Figura 1**). La altimetría de la ciudad se caracteriza por su elevada complejidad, con variaciones que pueden alcanzar los doscientos metros en una reducida distancia.

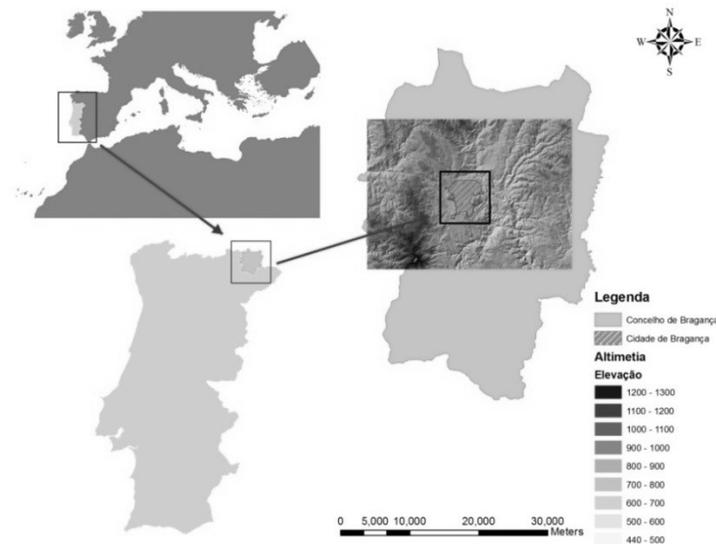


Figura 1 - Enmarque geográfico de Bragança.

Esta ciudad se extiende por aproximadamente 33 km², con una población de 23099 habitantes (INE, 2012), a la cual se acrece una población de estudiantes de cerca de 5.000 personas. El espacio urbano se caracteriza por la diversidad de tipologías de construcción que incluye barrios de edificios plurifamiliares, que contrastan con amplios espacios de viviendas unifamiliares. La actividad industrial es poco representativa, por lo que la economía local se sostiene esencialmente por la presencia de instituciones de prestación de servicios, mayoritariamente públicos.

Tal como en la generalidad del territorio de esta región, el local donde se sitúa la ciudad es marcado por una elevada complejidad topográfica, característica de espacios montañosos, con una gran variación en la altitud. En este contexto territorial, la ciudad es influenciada por los valles de los ríos: el primero, el rio Fervença, atraviesa la ciudad en su interior causando un impacte más notorio en el cotidiano de la población; el segundo, el rio Sabor, se encuentra en la periferia de la ciudad, no teniendo una relación tan inmediata con o cotidiano de la población.

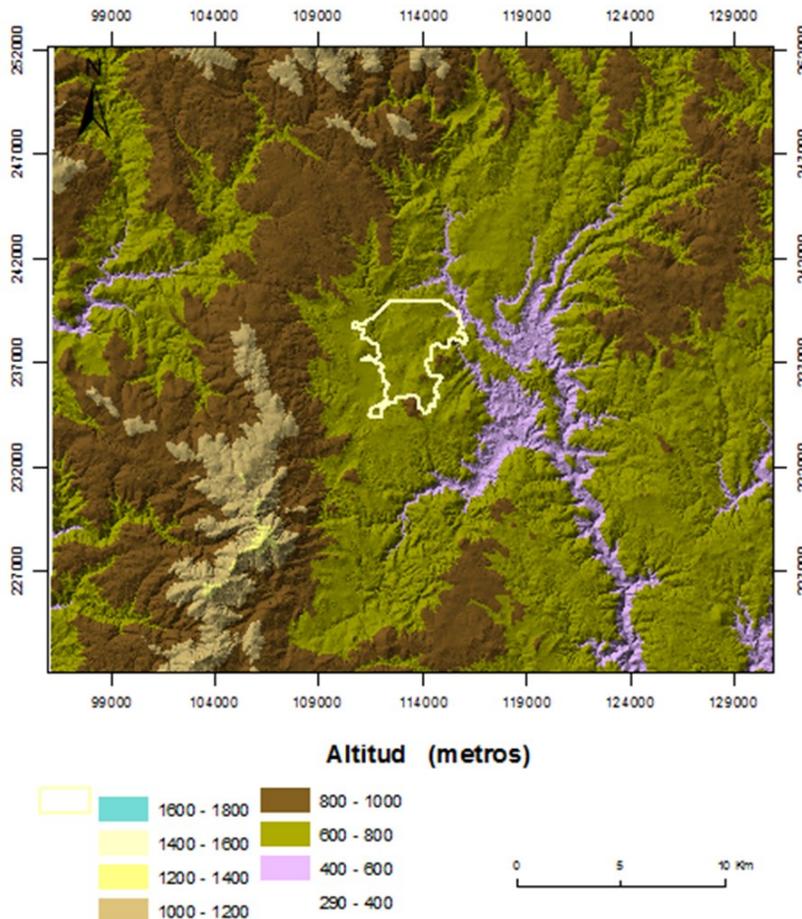


Figura 2 – Altitud en el entorno de la ciudad de Bragança

Sobre este territorio complejo, la ciudad ha evolucionado de modo lento y compacto hasta mediados del siglo XX, registrando-se, desde entonces, un gran crecimiento en la población urbana del municipio (

Figura 3). En este proceso, la ciudad asumió una mayor dispersión, expandiéndose sobre el territorio y adoptando una creciente complejidad en las relaciones ciudad-clima.

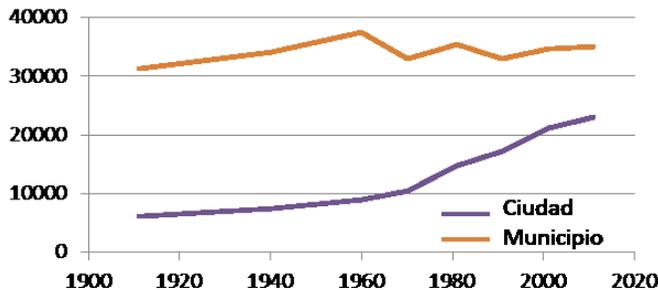


Figura 3 – Evolución de la población de la ciudad¹ y del municipio de Bragança en base a los datos de los censos poblacionales (1911, 1940, 1960, 1970, 1981, 1991, 2001 y 2011)

¹ En esta contabilidad se consideran las unidades urbanas – “freguesias” - de la ciudad de Bragança, que incluyen Sé, Santa Maria y Samil.

En la actualidad, la ciudad posee una elevada diversidad de tipologías de construcción y urbanización, incluyendo barrios de edificios plurifamiliares, de diversas tipologías, que contrastan con los amplios espacios de viviendas unifamiliares. En el interior del perímetro urbano pueden aun encontrarse vastos espacios verdes, con características diversas, y cuya composición es el resultado de los usos previstos, como en el caso de los espacios verdes públicos o de las actividades agrícolas y forestales, pero donde pueden también ser encontrados amplios terrenos expectantes y sin uso visible, donde la vegetación se ha desarrollado de modo espontáneo.

1.1 Contexto Climático

El clima observado en un determinado local es influenciado, de modo variable, por la circulación atmosférica a la escala global, regional y local. En términos globales el clima es largamente determinado por la latitud. La una escala regional, el clima depende fundamentalmente de la circulación atmosférica en las zonas de transición entre los continentes y el océano. El sea, depende del grado de “continentalidad” del clima regional. La una escala de aún más detalle, el clima local puede ser afectado por el relieve por la proximidad de cuerpos de agua (ríos o lagos).

La posición interior de la región portuguesa de Trás-os-Montes hace con que no esté bajo la influencia marítima, no suelo por el oeste pero también por el norte, por la influencia del sistema Galaico-Duriense (El Teleno, 2188 m) y por los montes Cantábricos. De oriente, sufre la influencia del altiplano Castellano-Leonés e, al Sul, del altiplano Beirão y del Macizo Central, en el prolongamiento del sistema Central Ibérico (Almançor, 2592 m, Serra de la Estrela, 1993 m). Teniendo como referencia el resto de Portugal, estas influencias generan un mesoclima con características con influencia continental conjugadas con un régimen típicamente Mediterráneo con una estación xérica muy acentuada – resumida en el refrán popular “*em Trás-os-Montes existem nove meses de Inverno e três de inferno*” (Gonçalves, 1991).

1.1.1 O ambiente térmico

Bragança tiene un régimen térmico marcado por la fuerte amplitud térmica anual y en cada mes por una gran diferencia entre la media de las máximas y la media de las mínimas (Figura 4). La temperatura media mensual en Bragança varía entre los 4,4°C en el mes más frío (Enero) y los 21,3°C en el mes más caliente (Julio). La media de la temperatura máxima diaria varía entre los 8,5°C en el mes de Enero y los 28,5°C en los meses de Julio y Agosto, mientras que la media de la temperatura mínima diaria varía entre los 0,3°C (Enero) y 14°C (Julio). La amplitud térmica oscila entre los cerca de 8°C en Enero y los 15°C en Agosto. El mayor valor de la temperatura máxima (temperatura absoluta, registrada una única vez en el período en análisis) fue de 38,8°C (Junio), y el menor valor de la temperatura mínima de -11,4°C (Enero).

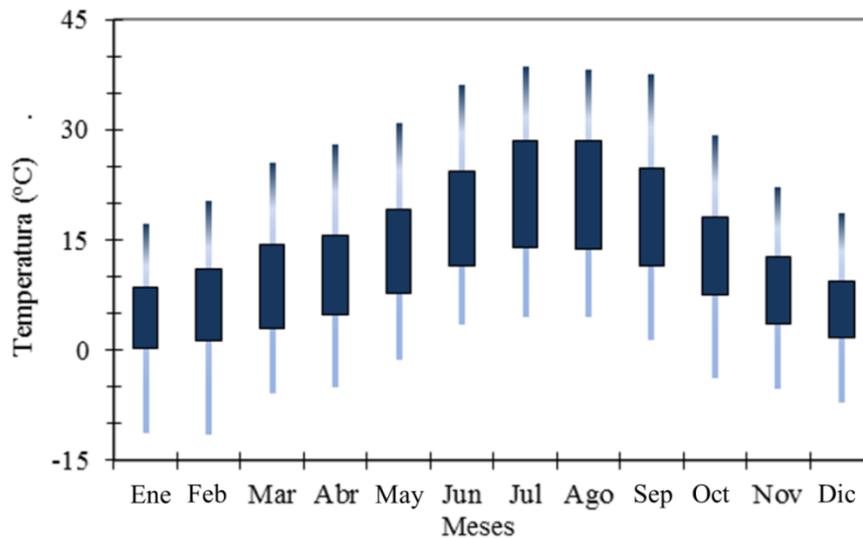


Figura 4 - Amplitud térmica (columna) y valores absolutos de las temperaturas máxima y mínima (extremos de la línea vertical) para Bragança, en el período 1971-2000.

La intensidad y duración del frío invernal y del calor en el verano son indicadores climáticos importantes del perfil térmico local (**Figura 5**). El número medio de días por mes en los que la temperatura mínima es inferior a 0°C y en que la temperatura máxima es superior a 25°C, complementan la descripción de la evolución anual de la amplitud térmica y dan una nota de las condiciones extremas que, del punto vista del régimen térmico, caracterizan la ciudad de Bragança. La temperatura mínima es inferior a 0°C en cerca de 53 días al año. Esos días se encuentran distribuidos entre Octubre y Mayo con mayor frecuencia en los meses de Enero (16 días) y Diciembre (12 días). La temperatura máxima alcanza valores por encima de los 25°C en cerca 87 días al año. Esos días se encuentran distribuidos entre Abril y Octubre con mayor frecuencia en los meses de Julio y Agosto (60%). La frecuencia de noches tropicales (temperatura mínima superior a 20°C) es bastante reducida y se limita a los meses de Julio y Agosto.

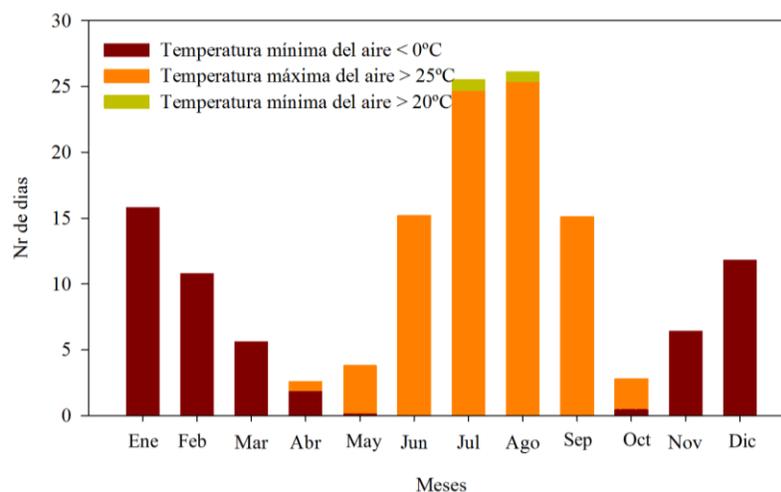


Figura 5 - Número medio de días con temperatura mínima del aire inferior a 0°C, temperatura mínima superior a 20°C y temperatura máxima superior a 25°C, en Bragança, en el período 1971-2000

1.1.2 Distribución de la precipitación

A distribución anual de la precipitación en Bragança es típica del clima mediterráneo con una elevada concentración en la estación fría y una reducida precipitación en los meses más calientes (**Figura 6**). En Bragança la precipitación en el semestre húmedo (Octubre - Marzo) representa cerca de 67% de la precipitación anual. La gran variación intra-anual de la precipitación tiene como consecuencias el exceso de agua en el suelo en el período invernal, que constituye un problema en solos localizados en los valles y con deficiente drenaje, y un déficit de agua en el suelo en el período estival es más acentuado en los suelos con menor capacidad utilizable de agua.

La precipitación puede aun ser analizada desde el punto de vista de la frecuencia de ocurrencia de lluvia intensa. En la **Figura 6** se presentan los valores medios del número de días en que la precipitación acumulada es superior a 0,1 mm, 1 mm y 10 mm. Las situaciones de lluvia intensa (precipitación igual o superior a 10 mm) ocurren en cerca de 26 días al año, con mayor frecuencia en los meses de invierno, y corresponden, en general, a la ocurrencia de superficies frontales en la región. Bajo estas condiciones, el elevado escurrimiento superficial puede causar problemas de drenaje de aguas pluviales. La presencia de vegetación tiene un efecto positivo en la disminución del drenaje superficial en el momento de la ocurrencia de precipitaciones más intensas. Los árboles, debido a su capacidad de almacenamiento, en particular las de hoja persistente, cumplen una función muy importante en la disminución del drenaje superficial por el incremento de las pérdidas por intercepción (evaporación de la precipitación interceptada) contribuyendo además para un incremento de la humedad de la atmósfera. Los espacios verdes cumplen también una función relevante en el incremento de la tasa de infiltración del agua en el suelo, contribuyendo de este modo para un menor drenaje superficial.

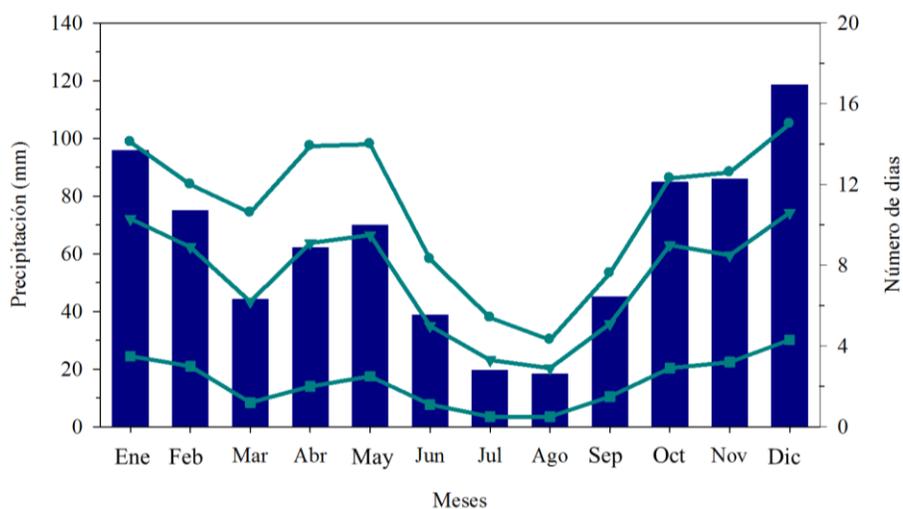


Figura 6 - Valores medios de la precipitación en Bragança en el período 1971-2000. Las columnas representan la precipitación media acumulada y las líneas representan el número de días con precipitación igual o superior a 0,1 mm (-●-), con precipitación igual o superior a 1,0 mm (-▼-) y con precipitación igual o superior a 10 mm (-■-).

1.1.3 Radiación solar e insolación

La radiación solar y la insolación (número de horas de sol) son variables climáticas fundamentales en el análisis del clima regional. El curso de la radiación solar a lo largo del año es semejante al observado para la temperatura del aire, con un valor máximo a ser alcanzado en el mes de Julio ($25 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) y el mínimo en Diciembre ($5,3 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) (**Figura 7**). Los valores de la radiación solar mencionados corresponden a la radiación medida en una superficie horizontal. Las vertientes con exposición al sur reciben mayor radiación solar que las zonas de altiplano y las vertientes con exposición a norte. Los climas locales y microclimas son, por eso, fuertemente influenciados por la distribución espacial de la radiación solar.

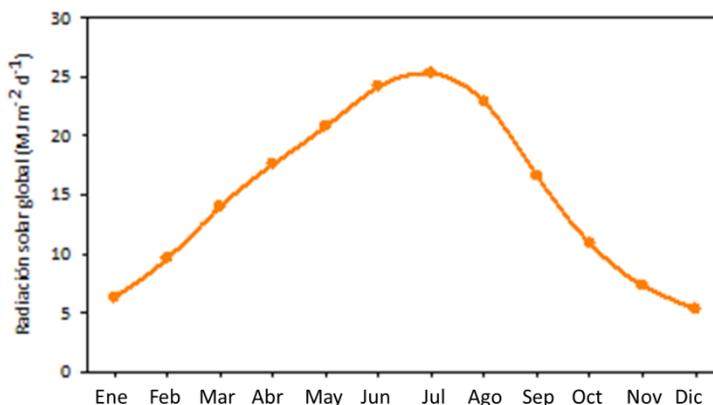


Figura 7 - Radiación solar media ($\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) en Bragança en el período 1971-2000

La insolación tiene una distribución idéntica a la de la radiación solar (**Figura 8**). Los valores máximos de la insolación, expresada en horas, se registran en los meses de Julio (342,6 h) y Agosto (327,3 h) y los mínimos en Enero (111,5 h) y Diciembre (97,1 h). El valor anual acumulado es de 2661,6 horas. La insolación en porcentaje, también designada insolación relativa, presenta los valores máximos en los meses de Julio (75%) y Agosto (77%) y el valor mínimo en Diciembre (35%) y Enero (39%). Los valores mínimos en estos meses están relacionados con la ocurrencia de nieblas de radiación, típicos en esta altura del año, cuando situaciones anticiclónicas se establecen en la región (Gonçalves, 1985). En la **Figura 8** se representan además la frecuencia de ocurrencia de días con diferentes porcentajes de insolación. Los meses de Julio y Agosto tienen, en media, cerca de 21 días de insolación superior a 80%. Los meses de Enero y Diciembre, por otro lado, tienen en media cerca de 20 días con insolación inferior a 20%.

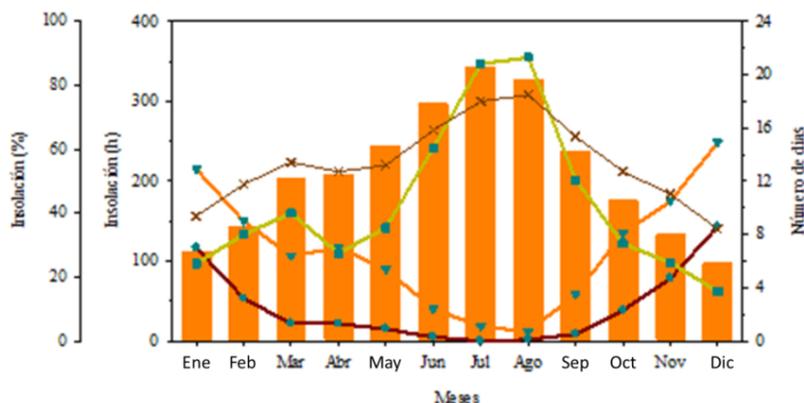


Figura 8 - Insolación, en horas de cielo limpio (columnas) y en porcentaje (-x-) y número medio de días con un porcentaje de insolación igual a 0 (-♦-), inferior a 20 (-▼-) y superior a 80 (-■-).

1.1.4 Régimen de vientos

Las direcciones predominantes del viento en la región son de oeste (26,5%) y noroeste (15%) (**Figura 9**). Analizando las frecuencias a lo largo de este período se constata que estas son las direcciones predominantes, con excepción de los meses de Invierno (Noviembre a Febrero) en que los vientos de sur asumen particular relevancia (**Figura 10**). Los valores medios mensuales más elevados de la velocidad del viento se observan en los meses de Febrero a Mayo, coincidiendo con la primavera, que en la región presenta aun elevada intensidad frontal. Los valores más bajos observados en los meses de invierno confirman la existencia de situaciones de estabilidad más frecuentes en esta época del año de lo que ocurre, por ejemplo, en la temporada estival.

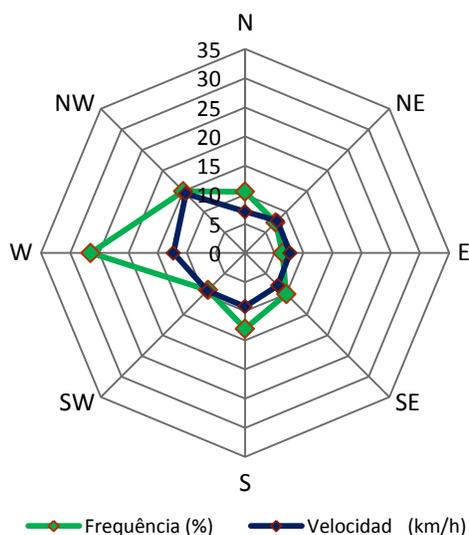


Figura 9 - Velocidad media del viento y frecuencia anual por rumbo en Bragança, en el período 1971-1997

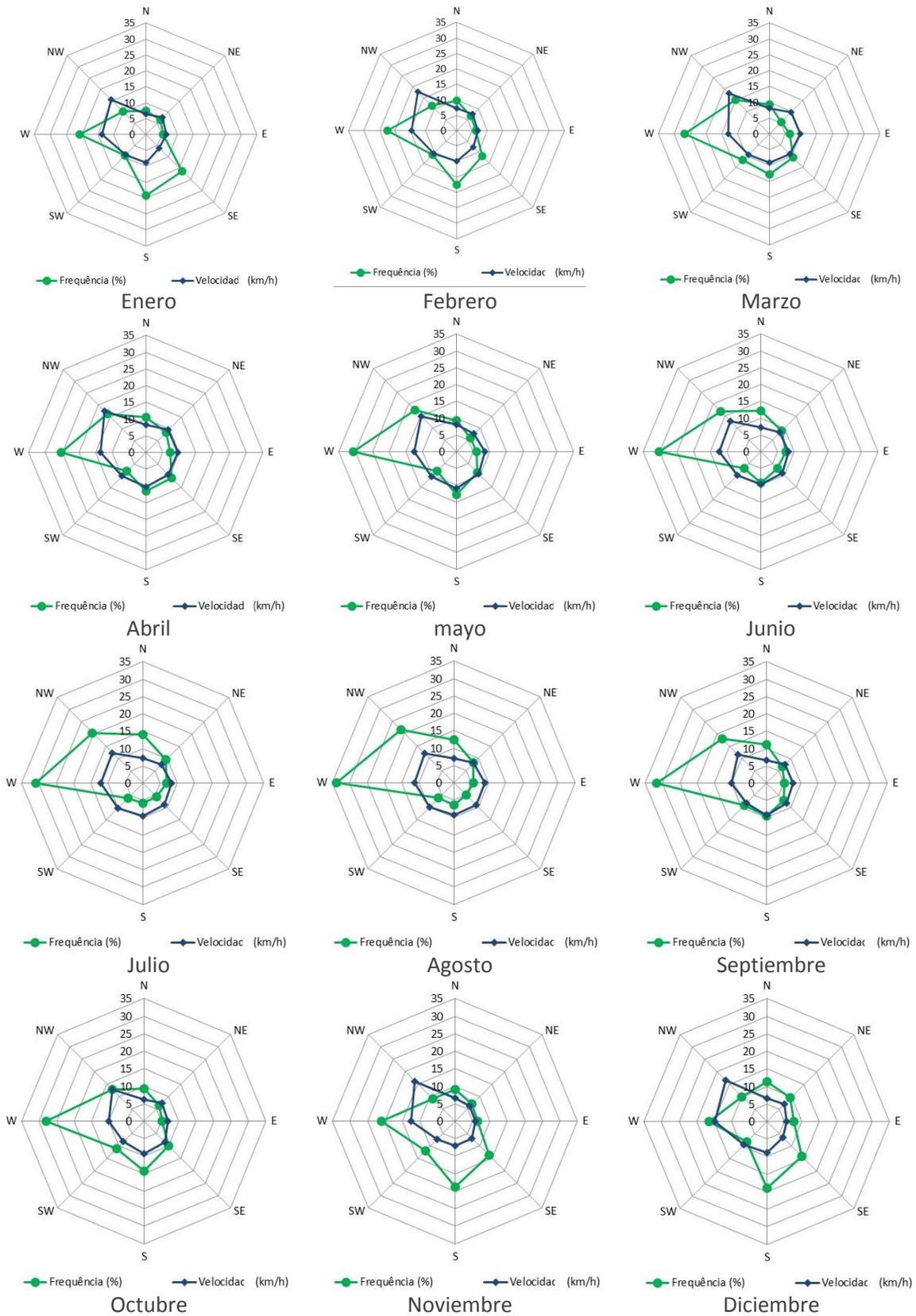


Figura 10 - Velocidad media del viento y frecuencia por rumbo para los varios meses del año en Bragança, en el período 1971-1997

1.1.5 Balance hídrico del suelo

La distribución asimétrica, bien demarcada, entre la temperatura del aire y la precipitación (**Figura 11**), origina un déficit de agua en el suelo durante la temporada estival con varios efectos negativos importantes, entre los cuales los que afectan la vegetación más sensible a la sequera estival.

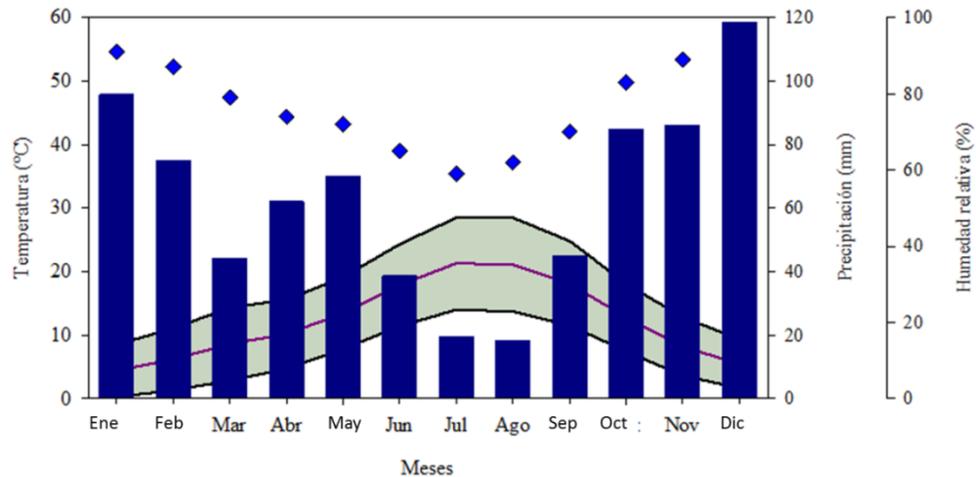


Figura 11 - Variación mensual de los valores medios de la temperatura máxima y mínima, de la humedad relativa (◆) y distribución de la precipitación a lo largo del año. Las columnas representan la precipitación mensual y la banda representa la amplitud entre los valores medios mensuales de la temperatura máxima y mínima.

El balance hídrico, por su turno, permite verificar el elevado y prolongado déficit hídrico que se extiende de Abril a Septiembre (**Figura 12**). Los mayores valores mensuales del déficit hídrico se registran en los meses de Julio (134,8 mm) y Agosto (131,9 mm). El déficit hídrico acumulado a lo largo del año es de 409 mm.

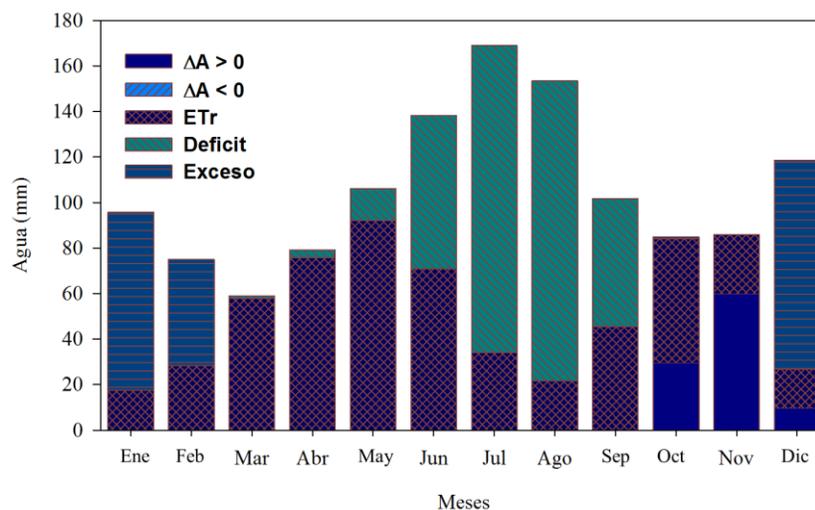


Figura 12 - Balance hídrico del suelo para una capacidad utilizable de 100 mm/m (ΔA – variación del almacenamiento de agua en el suelo; ETr – evapotranspiración real)

La evapotranspiración real (ETr) anual es de 540,8 mm. En lo que concierne a la variación mensual, los mayores valores de ETr ocurren en general en los dos primeros meses del período seco (Abril y Mayo), período en el que aún existe agua en el suelo y simultáneamente condiciones climáticas no limitantes para la evapotranspiración.

1.1.6 Clasificación climática

En el Norte de Portugal se verifica un predominio del clima *Csb* según la clasificación climática de Köppen, con excepción de la “Terra Quente Duriense”, donde predomina el clima *Csa*, y de pequeños enclaves de clima *Cfs* en los puntos altos de la región (Azevedo *et al.*, 1995).

En la clasificación de Köppen la ciudad de Bragança se incluye en el tipo de clima *Csb* que corresponde a un clima temperado con Inviernos suaves (temperatura del mes más frío entre -3 y 18 °C (Clase C); verano seco (mes de verano más seco con precipitación inferior a 40 mm y un tercio de la precipitación del mes de Invierno más húmedo) (Subclase Cs); verano largo y fresco (temperatura media de todos los meses inferior a 22°C; existen al menos cuatro meses con temperatura media por encima de 10 °C) (Subclase Cb).

Por la clasificación de Thornthwaite el clima es del tipo $B_2 B'_4 s b'_4$ – húmedo, mesotérmico (ETP anual entre 997 y 1140), con moderada escasez de agua en el verano (índice de aridez entre 16,7 y 33,3) y con moderada concentración de la eficiencia térmica en la estación caliente (entre 48 y 51,9%).

En el Manual de Diseño Bioclimático (Fariña Tojo *et al.*, 2013) de este proyecto se presenta una extensa análisis de las implicaciones de este tipo de clima sobre el confort térmico exterior y su relación con las características del espacio urbano.

2 Monitoreo Climático

2.1 Red de Monitoreo Meteorológica

2.1.1 Red de estaciones meteorológicas automáticas

Las estaciones meteorológicas automáticas de la red de monitoreo del clima de la ciudad de Bragança integran instrumentos de medición de temperatura y humedad del aire, velocidad y dirección del viento, radiación solar global y precipitación (**Figura 13**). Los sensores de temperatura y de humedad del aire (modelo CS215, Campbell Sci.) están incorporados en un único instrumento. Su calibración debe efectuarse con regularidad. La velocidad y dirección del viento son medidas en un único instrumento que integra un anemómetro de hélice y un cataviento (modelo 05103, R.M. Young). La radiación solar global es medida con un piranómetro constituido por un sensor fotométrico (modelo CS300, Campbell Sci.) con un espectro de medición entre los 300 y los 1100 nm. La precipitación es medida por un pluviómetro con resolución de 2 mm (modelo ARG100, Campbell Sci.). Los sensores están ligados a un sistema de adquisición de datos (Datalogger) (Modelo CR10X, Campbell Sci.) programado para almacenar la información en cada 10 minutos.



Figura 13 - Estaciones Meteorológicas Automáticas de la red de monitorización del clima de la ciudad de Bragança

2.1.2 Red de medición de la temperatura, humedad relativa del aire, velocidad y dirección del viento.

Para la medición de la temperatura y humedad del aire se utilizarán unidades de adquisición de datos compactas (“minidataloggers”) con sensores de temperatura y humedad relativa (modelo Tinytag TGP-4500, Gemini Data Loggers). Estos sistemas se han introducidos en abrigo, con ventilación natural, para protección de la radiación, a una altura de 3 metros en relación a la superficie del suelo (**Figura 14**). La capacidad de almacenamiento es de 32000 lecturas, la gama de medición de temperatura se sitúa entre los -25 y 85°C y la de la humedad relativa entre 0 y 100%. Estos sistemas, de reducidas dimensiones (altura 34 mm; largura 57 mm y profundidad 80 mm), están bien adaptados a mediciones en el exterior.



Figura 14 - Locales con monitorización de la temperatura y humedad relativa (A); detalle del sistema de medición sin el abrigo (B)

La medición de la velocidad y dirección del viento se efectuó en tres Zonas Climáticas locales (ZCLs) con anemómetro de vaso y cataviento (modelo 03002-L, R.M.Young). Los sensores se han posicionado a 3 metros de altura en relación con la superficie del suelo (**Figura 15**).



Figura 15 - Locales con monitorización de la temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección del viento.

La localización de los sensores de temperatura y de humedad tuvo como referencia las indicaciones de la metodología del proyecto BIOURB, aunque las restricciones de seguridad de los equipamientos hizo con que algunos equipamientos fueran posicionados próximos de zonas de transición entre ZCL.

La **Figura 16** presenta la distribución de los sensores en la ciudad de Bragança. Entre los aspectos más relevantes de su configuración se subrayan:

- Fueron definidos locales de medición correspondientes a seis de las siete Zonas Climáticas Locales (ZCL) propuestas por Oke (2004). La no inclusión de la clasificación climática de mayor densidad, se debe obviamente a la inexistencia de esas condiciones en el contexto urbano estudiado. A estas tipologías fue aun adicionada una séptima categoría correspondiente a locales en el interior de los espacios verdes urbanos, en un total de tres puntos de monitoreo, como forma de evaluar las condiciones micro-climáticas de estos locales. Con la excepción de los espacios rurales en el entorno (próximo) de la ciudad (RUR), con cuatro puntos de medición, todas las demás ZCLs poseen tres puntos de medición.

- Se intentó hacer una distribución equilibrada en el muestreo espacial, con la inclusión de sensores posicionados por toda la ciudad, de modo a garantizar la descripción de una amplia diversidad de contextos del clima urbano.
- Igualmente relevante, en la distribución de los locales de monitoreo se la presencia de sensores en diferentes contextos orográficos, incluyendo los puntos situados junto a los locales más bajos (540 metros) y los puntos más elevados (800 metros) de la altimetría de la ciudad, además de incluir diferentes contextos topográficos.

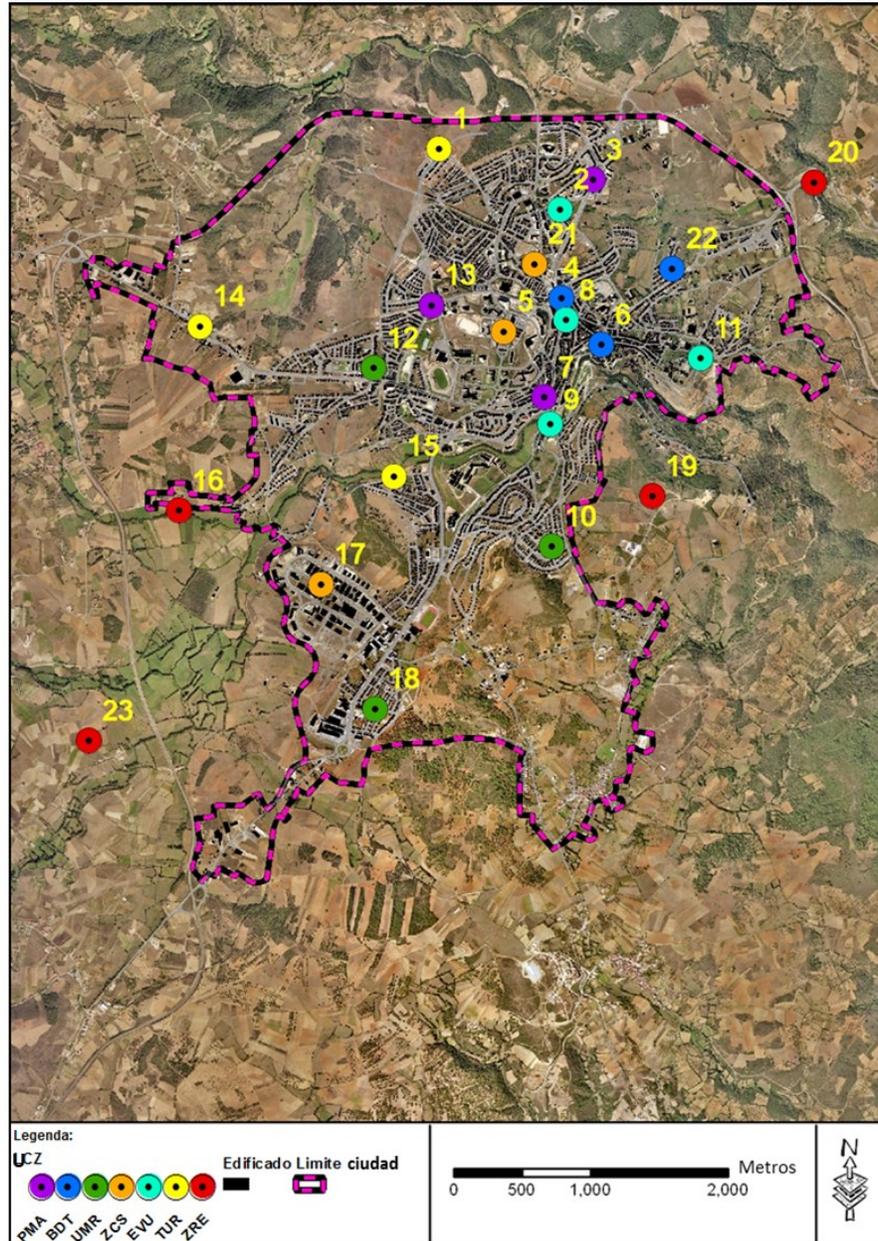


Figura 16 – Distribución de los puntos de monitoreo climático

Todos los 23 puntos de medición presentados están asociados al monitoreo de temperatura y de humedad. En los puntos 6, 7 y 12 están instalados sensores de velocidad y dirección del viento, buscando describir contextos particulares:

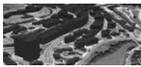
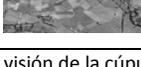
- El punto 6 se sitúa en el centro de la ciudad tradicional de Bragança (BDT), en un espacio antes ocupado por un mercado local y al día de hoy usado como un amplio espacio con pavimento, donde se producen conciertos y otras actividades culturales. Tiene edificios en casi todo su perímetro exterior, con una abertura de mayor dimensión para el lado oeste, coincidente con la transición para los espacios en el entorno del río Fervença.
- El punto 7 se sitúa un contexto de elevada concentración de edificios, en la avenida central de la ciudad (PMA). Este punto presenta algún potencial para la ocurrencia de efectos asociados a la conducción e intensificación del viento, debido al contexto urbano en que el que se insiere, caracterizado por la presencia de un *street canyon*, caracterizado por la elevada relación entre la altura de los edificios y la anchura de la avenida.
- El punto 12 corresponde a un contexto residencial de baja densidad (UMR), en un barrio relativamente plano y situado en un local expuesto a los principales vientos que inciden sobre la ciudad, por lo que sería expectable una menor influencia de los efectos de la rugosidad en la velocidad y dirección del viento.

2.2 Caracterización de los locales de monitoreo

La selección de los locales de monitorización se ha basado además en la aplicación de indicadores que permitieron describir las características de los varios locales, teniendo como referencia un radio de 25 metros (**Tabla 1**). Entre ellos, se incluyen: indicadores de caracterización de la morfología urbana, el Factor Cielo Visto (FCV), el Porcentaje de Superficies Artificiales y la Rugosidad.

La **Tabla 1** demuestra la existencia de una gran correspondencia entre las características de los locales, medido por los indicadores, y la identidad de las ZCLs. De este modo, en los espacios de mayor densidad del contexto local, existe, en la generalidad de los casos, un menor Factor de Cielo Visto (FCV), una mayor rugosidad y una mayor impermeabilización del suelo. En el otro extremo, en los espacios rurales próximos de la ciudad (ZRE), e incluso en los espacios de transición urbano-rural (TUR), las condiciones son substancialmente diferentes, el FCV es elevado, la rugosidad es baja y los suelos son predominantemente impermeables.

Tabla 1– Zonas Climáticas locales (ZCL)

Zona Climática Local ¹		Factor de Cielo Visto ²	Rugosidad ³	% Impermeabilidad ⁴	
PMA – Edificado moderno de altura media-alta, elevada densidad y superficies con pavimento			0.59 - 0.81	1.54 - 2.5	94 - 99
BDT – Núcleo más antiguo de la ciudad, con edificado de altura media-baja (2 a 5 pisos), elevada densidad, edificado en piedra y ladrillo.			0.69 - 0.92	0.93 - 1.07	88 - 99
UMR – Media densidad, calles de habitaciones de baja altura en banda o aisladas			0.74 - 0.76	0.74 - 0.76	90 - 99
ZCS – Comercial e industrial - elevado desarrollo, densidad media-baja con edificios bajos de elevado porte y aparcamientos con pavimento			0.82 - 0.99	0.82 - 0.99	99
EVU – Espacios verdes urbanos – con predominancia de una ocupación con vegetación en diversos estratos.			0.91 - 0.99	0.08 - 2.00	2 – 81
TUR – Espacios semi-rurales – viviendas dispersas con entornos agrícolas y forestales			0.97 - 1.00	0.00 - 0.15	23 - 57
ZRE – áreas rurales aisladas en los suburbios de la ciudad, representativas de las características del paisaje local			1	0	0 – 20

Factor de Cielo Visto – Mide el grado de visión de la cúpula celeste desde un punto determinado, 1 – visión total y 0 – visión nula

Rugosidad – Medida del efecto de la interacción potencial entre los edificios y el viento

Superficie Artificial (%) – Proporción de espacio ocupado por edificios y superficies artificiales

Un factor que añade complejidad en el análisis del Clima Urbano resulta de la dispersión de puntos por diferentes altitudes, lo que resulta de la ya presentada variabilidad topográfica del contexto local. La **Tabla 2** presenta la distribución de las altitudes por los distintos puntos de monitoreo.

Tabla 2- Características del local de cada sensor

Punto	ZCL	Altitud (m)	Latitud (°)	Longitud (°)
1	TUR	679.8	-6.77	41.818
2	EVU	644.9	-6.760	41.814
3	PMA	651.4	-6.757	41.815
4	BDT	670.8	-6.760	41.808
5	ZCS	712.9	-6.765	41.806
6	BDT	651.9	-6.757	41.805
7	PMA	677.9	-6.762	41.801
8	EVU	672.1	-6.760	41.806
9	EVU	659.7	-6.761	41.799
10	UMR	720.9	-6.761	41.791
11	EVU	664.9	-6.748	41.804
12	UMR	678.6	-6.777	41.803
13	PMA	710.2	-6.771	41.807
14	TUR	709.9	-6.792	41.806
15	TUR	660.7	-6.775	41.796
16	ZRE	673.6	-6.794	41.794
17	ZCS	714.2	-6.782	41.789
18	UMR	736.8	-6.777	41.781
19	ZRE	811.8	-6.753	41.795
20	ZRE	558.1	-6.738	41.815
21	ZCS	681.6	-6.763	41.810
22	BDT	629.8	-6.751	41.809
23	ZRE	709.6	-6.803	41.779

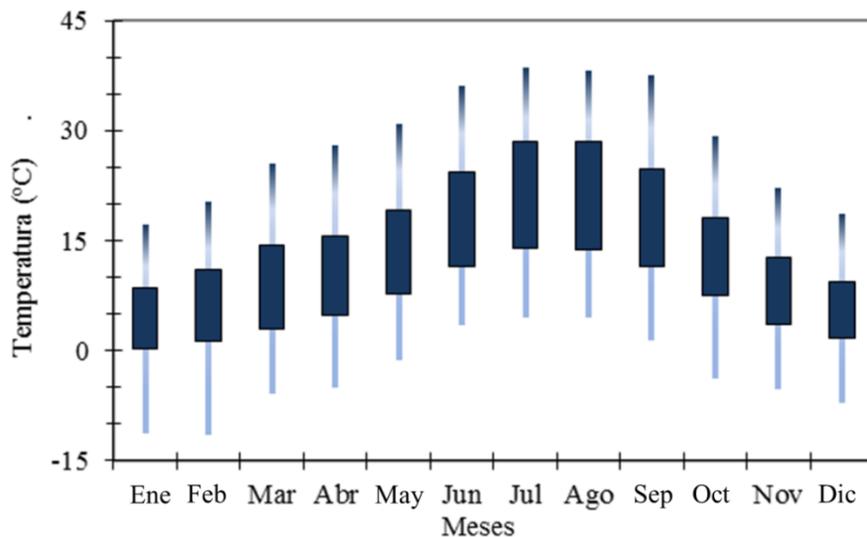
3 Resultados

3.1 Análisis de datos

El presente informe presenta el análisis de los datos del monitoreo climático en la ciudad de Bragança, analizando un año completo de recogida de datos, incluyendo las cuatro estaciones: Invierno (Diciembre del 2011 a Febrero del 2012); primavera (Marzo a Mayo del 2012); verano (Junio a Agosto del 2012); y otoño (Septiembre a Noviembre del 2012).

El análisis se hace por una lectura individualizada de los datos e/o agrupando valores por ZCL, lo que permite, más que presentar una lectura definitiva del clima de la ciudad, inviable con un conjunto limitado de datos, analizar aspectos de variabilidad del clima local, inducidos por las condiciones características del ambiente urbano.

La **Figura 17** presenta los valores medios de la media, mínima y máxima de las temperaturas en los diversos meses del primer año de monitoreo. Entre los aspectos más relevantes de estos datos, por comparación con los datos de las series Normales Climatológicas



(**Figura 4**), se destacan:

- una menor precipitación durante los meses de referencia del Invierno y el mes de Marzo;
- en Febrero, valores de temperatura fueron más bajos del que los valores anteriormente descritos;
- los meses con más precipitación fueron Octubre y Noviembre, mientras que en los valores de las Normales Climáticas remetían para valores de precipitación más intensa entre Diciembre y Enero.

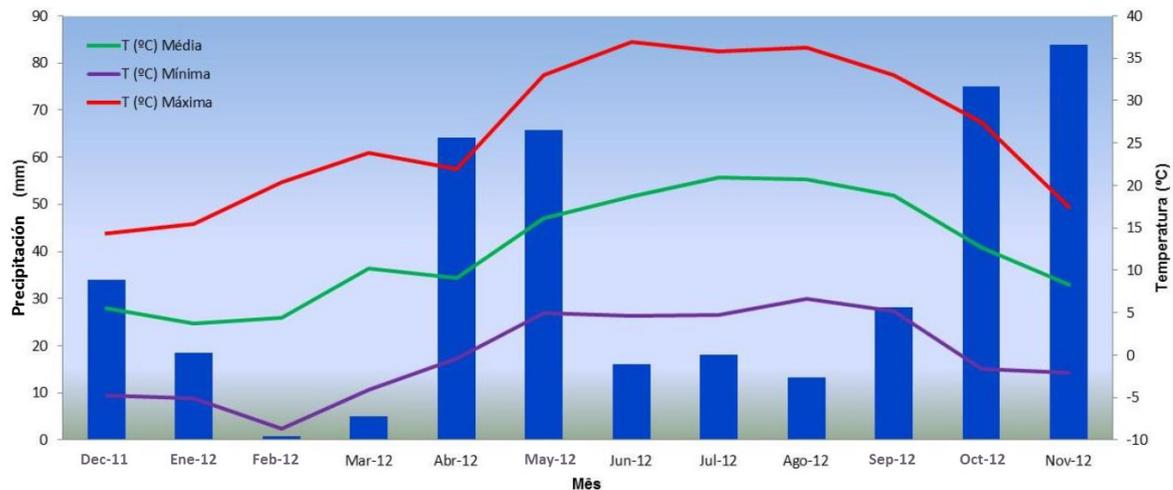


Figura 17 - Gráfico de la variación mensual de la precipitación y de las temperaturas medias, máximas y mínimas para el período de estudio (Maia, 2013)

Aun estas diferencias, no se podrá considerar este período como atípico, apenas se debe asumir que existió alguna variabilidad de los datos, que resultan de las naturales diferencias interanuales en las condiciones meteorológicas.

3.2 Efecto de isla de calor

El análisis del efecto de isla de calor urbano (EICU) es un elemento central en la evaluación del clima de la ciudad de Bragança. Como presentado en la metodología de este proyecto, este proceso resulta de la interacción entre las estructuras urbanas y las condiciones meteorológicas en esta escala.

Este análisis fue antecedido por la corrección de los datos considerando el diferencial de altitud entre los diferentes puntos de monitorización. Este proceso, utilizado apenas para este efecto, responde a la necesidad de, en contextos con una compleja topografía, corregir los efectos que resultan del contexto territorial y que serán presentados y discutidos más adelante.

En esta corrección se seleccionaron dos puntos rurales (P23 y P19), en los cuales no eran expectables efectos urbanos. Teniendo como referencia los datos de estos dos puntos, se calculó un gradiente térmico vertical horario en la forma de curvas polinomiales de grado 5, con las cuales se corrigieron los valores de la temperatura, en función de la altitud en cada uno de los puntos, considerando una altitud media de referencia de 680 metros (Maia, 2013).

Tras la normalización de los datos, estos fueron agrupados para cada ZCL, permitiendo interpretar las diferencias entre los datos registrados en los sensores pertenecientes a cada una de las categorías y los espacios rurales en el entorno (RUR), descreyendo de esa forma la intensidad del EICU.

La **Figura 18** presenta las diferencias máximas instantáneas registradas entre cada punto representativo de las ZCL y los espacios RUR. Estos datos demuestran la existencia de intensidades máximas del EICU que en algunas categorías de ZCL asumen una gran relevancia. Entre los principales elementos que resultan de este análisis se destaca:

- La existencia de un gradiente en los valores de la mediana que traducen una transición desde los espacios más urbanizados, pertenecientes a la categoría PMA, hasta los puntos de la transición urbano-rural, donde apenas subsisten pequeñas diferencias. La principal divergencia, frente a los resultados esperados para el gradiente de ZCL en la escala de Oke (2004), ocurrió en las categorías de espacios urbanos de media densidad residencial (UMR) y para las zonas comerciales e industriales (ZCS), donde se verifica una ligera inversión de posiciones. Los espacios verdes urbanos (EVU) asumen aun un comportamiento térmico favorable a la ocurrencia del EICU, que se puede explicar por las características de los locales de muestreo, que incluyen, entre otros espacios dentro del perímetro urbano, un espacio de menores dimensiones en un contexto altamente urbanizado (Punto 8).

- La intensidad máxima instantánea se registró en los meses de verano, en los espacios de media a alta densidad residencial (PMA), con valores próximos a 6,6 °C, con una mediana próxima de los 4 °C. En el extremo opuesto se encontraban los valores de la clase de transición de urbano para rural (TUR), donde los valores de la intensidad máxima del EICU fueron reducidos. En las estaciones de otoño e invierno se registraron los valores de menor intensidad del EICU.

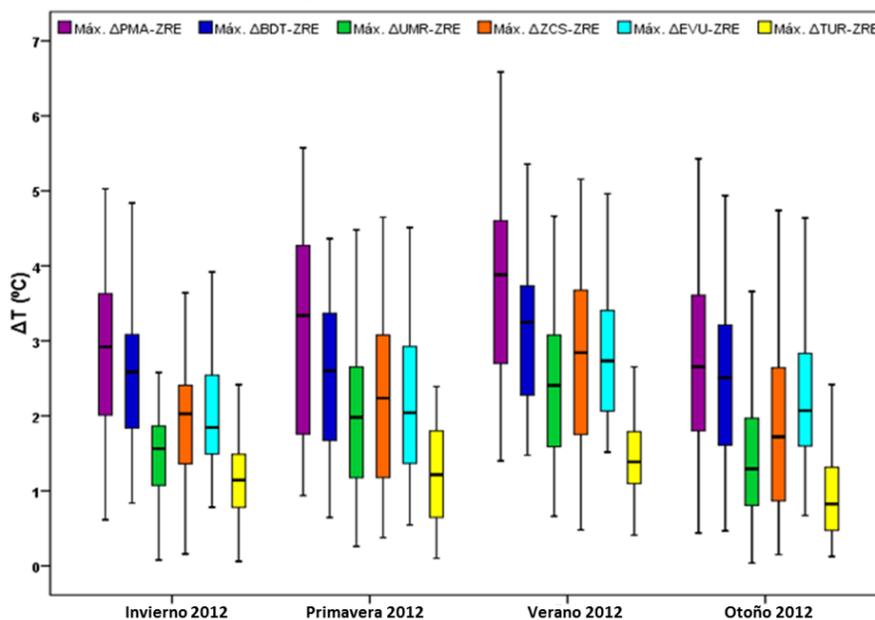


Figura 18 – Diagrama de caja relativo a las diferencias máximas entre las temperaturas de las diversas ZCL y la zona rural (RUR) en las diferentes estaciones del año.

Para comprender mejor los efectos de las diferentes ZCL en la temperatura, se extendió el análisis considerando la evaluación de los valores mínimos y máximos. Los resultados de este análisis se encuentran representados en la Tabla 3.

Tabla 3 - Datos estadísticos estacionales para las diferencias registradas entre las diferentes ZCL y la ZRE

		Invierno	Primavera	Verano	Otoño
$\Delta_{PMA-ZRE}$	Media	0,79 (\pm 1,68)	1,05 (\pm 1,71)	0,98 (\pm 2,08)	0,83 (\pm 1,64)
	Mín.	-5,65	-4,87	-5,19	-4,67
	Máx.	5,03	5,58	6,58	5,43
$\Delta_{BDT-ZRE}$	Media	1,25 (\pm 0,96)	1,27 (\pm 1,0)	1,06 (\pm 1,31)	1,22 (\pm 0,95)
	Mín.	-3,00	-2,82	-3,52	-2,54
	Máx.	4,84	4,36	5,36	4,94
$\Delta_{UMR-ZRE}$	Media	0,40 (\pm 0,92)	0,79 (\pm 0,91)	0,85 (\pm 1,03)	0,33 (\pm 0,90)
	Mín.	-3,47	-2,75	-1,52	-2,60
	Máx.	3,99	4,48	4,66	3,75
$\Delta_{ZCS-ZRE}$	Media	0,56 (\pm 0,98)	0,89 (\pm 1,06)	0,80 (\pm 1,35)	0,54 (\pm 1,02)
	Mín.	-2,75	-1,84	-2,64	-2,42
	Máx.	3,64	4,65	5,16	4,74
$\Delta_{EVU-ZRE}$	Media	0,31 (\pm 1,33)	0,79 (\pm 0,98)	0,66 (\pm 1,37)	0,68 (\pm 1,23)
	Mín.	-5,72	-2,44	-3,46	-3,70
	Máx.	3,92	4,51	4,96	4,93
$\Delta_{TUR-ZRE}$	Media	0,20 (\pm 0,67)	0,37 (\pm 0,58)	0,18 (\pm 0,72)	0,15 (\pm 0,55)
	Mín.	-2,83	-1,16	-1,47	-2,68
	Máx.	2,59	2,39	2,94	2,69

Los resultados presentados demuestran la elevada variabilidad en el contraste urbano-rural, sin que el EICU sea el único efecto presente. En particular, se destaca la elevada intensidad del efecto inverso al EICU, en el denominado Efecto de Isla de Frio Urbana (EIFU), un proceso frecuentemente ignorado, pero que en el contexto local asume una intensidad similar al primero proceso, pero inverso.

Para comprender mejor estos procesos debe atenderse a la variación relativa de los datos de temperatura. Ambos los efectos pueden ser interpretados por el análisis de los gráficos de caracterización de las diferencias horarias entre las ZCL y el contexto rural (**Figura 19**). en el trabajo de Maia (2013) se puede encontrar un prolongado análisis de este proceso.

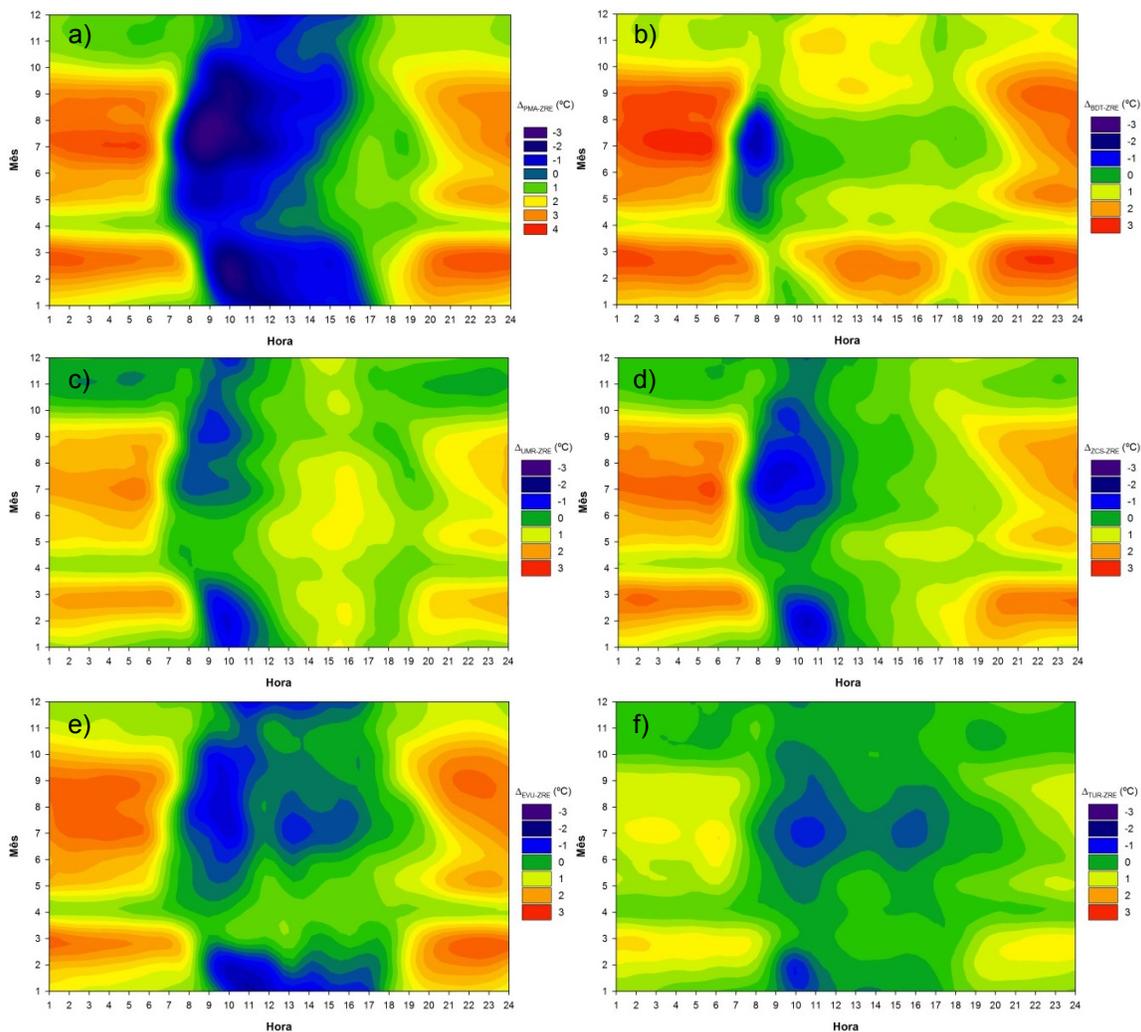


Figura 19 - Variación horaria y mensual de la intensidad media del EICU: a) $\Delta T_{PMA-ZRE}$; b) $\Delta T_{BDT-ZRE}$; c) $\Delta T_{UMR-ZRE}$; d) $\Delta T_{ZCS-ZRE}$; e) $\Delta T_{EVU-ZRE}$; f) $\Delta T_{TUR-ZRE}$. Fuente: Maia (2013).

El análisis de estos datos permite interpretar la variación de los efectos del espacio urbano, en una perspectiva dinámica, demostrando la elevada complejidad del comportamiento del ambiente térmico. Entre los aspectos más relevantes que resultan del análisis de la **Figura 19**, se puede subrayar la presencia de estos dos procesos complementares anteriormente presentados, el EICU y el EIFU.

El EICU, ampliamente referenciado en la metodología del proyecto y en el Manual de Diseño Bioclimático Urbano, resulta de una mayor acumulación de calor en los espacios urbanos, por el efecto combinado de la retención de calor en las superficies y la menor liberación del calor absorbido durante el día. Ese efecto asume una mayor intensidad en el período que antecede el amanecer, momento en que la disparidad entre el comportamiento térmico de los espacios urbanos asumió, en las ZCL más urbanas (clases PMA y BDT), una intensidad máxima. Este efecto asumió en los meses de verano valores medios próximos de los 3°C, datos que complementan la interpretación de los valores extremos anteriormente presentados. Se trata de un efecto progresivo, que se inicia con el ocaso y que asume un carácter de progresiva

intensificación. Estos resultados asumen gran relevancia cuando consideradas las repercusiones que este incremento de calor puede tener en contextos de olas de calor, recurrentes en este período del año.

El EIFU, de señal inverso, ocurre en las primeras horas después del amanecer, y resulta del efecto combinado entre el calentamiento más rápido de las superficies de los espacios rurales, como consecuencia de valores de inercia térmica inferiores a los espacios urbanos, y del menor acción de la sombra por edificios y estructuras urbanas, que motivó la presencia de temperaturas más bajas en los espacios rurales en comparación con los espacios urbanos.

Como ocurre con el EICU, el EIFU asume mayor intensidad en las ZCL asociadas a una urbanización más intensa. Su intensidad es máxima poco después del amanecer y es después atenuada con el avance de la mañana y se revierte cerca del mediodía solar, momento en el que se inicia, cuando las condiciones son apropiadas, el proceso de formación del EICU, que se extenderá hasta al amanecer del día siguiente.

Igualmente relevantes son las variaciones en la intensidad de estos fenómenos, que resultan de las condiciones de estabilidad. Como puede constatarse por el análisis comparado de la **Figura 17** y de la **Figura 19**, y como describe claramente en el trabajo desarrollado por Maia (2013), en contextos de mayor pluviosidad y mayor intensidad del viento, ambos los efectos térmicos anteriormente descritos son atenuados, lo que en este caso es notorio en gran parte de los días de los meses de Abril, Mayo, Noviembre y Diciembre de 2012.

3.3 Análisis de la velocidad y dirección del viento

Los datos de la velocidad y dirección del viento fueron registrados en una estación de referencia y en tres locales específicos del espacio urbano, presentados anteriormente.

Iniciando este análisis por los datos registrados en la estación meteorológica de referencia, se presentan, en la **Figura 20**, los valores anuales y repartidos por las cuatro estaciones del año. Considerando los datos anuales, sobresalen por su predominancia e intensidad los vientos de sur y sudoeste.

En cuanto a la variación estacional, se constata que en la estación de invierno alguna representatividad del viento de cuadrante nordeste, mientras que en la primavera, el viento de sudoeste asumió una frecuencia e intensidad diferente de las demás estaciones.

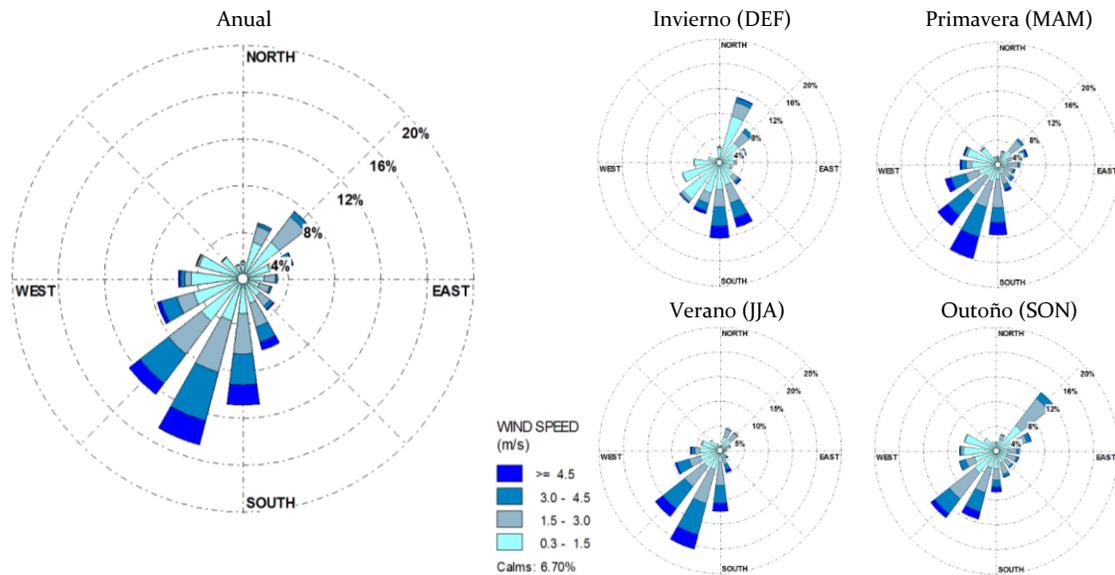


Figura 20 – Gráficos de vientos para la estación de referencia. Datos anuales y por estación del año.

En lo que respecta a la monitorización desarrollada en tres de los locales de monitoreo, resulta evidente la relación existente entre las características de los locales y los datos de la velocidad y dirección del viento.

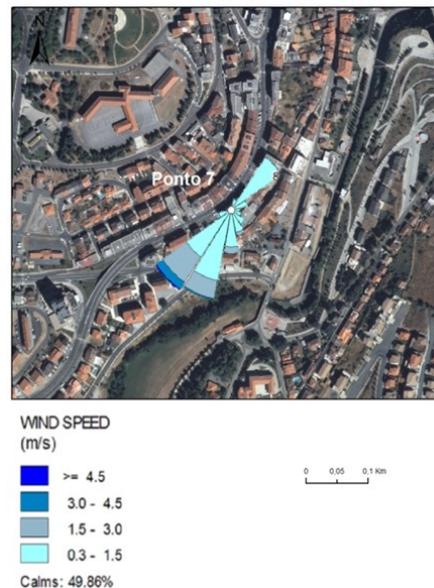


Figura 21 – Gráficos de vientos para el punto 7

Analizando los resultados del punto 7 (**Figura 21**), situado en un espacio perteneciente a la clase PMA, estos presentan una clara relación entre los registros de dirección del viento y el sentido del corredor urbano de la Avenida Sá Carneiro, ladeado por edificios altos (5 a 8 pisos). De este modo, se constata que es el pasillo sudoeste/noroeste el que concentra los vientos que inciden en este local, mientras que prácticamente se anulan las restantes orientaciones. Debe aún destacarse, que en este espacio se registra una mayor persistencia de condiciones de viento

nulo o casi nulo, lo que puede ser explicado por la atenuación del viento provocada por la mayor rugosidad en este local.

Los datos del punto 6 (**Figura 22**), situado en una plaza asociada a un espacio de media a baja densidad tradicional (BDT), los resultados demuestran, de modo similar, una relación entre el contexto urbano y el comportamiento del viento. De este modo, se verifica que las características de la Plaza Camões, semi-cerrada y con una abertura para el entorno del río Fervença, favorecen la ventilación en los cuadrantes orientados para este espacio ribereño.

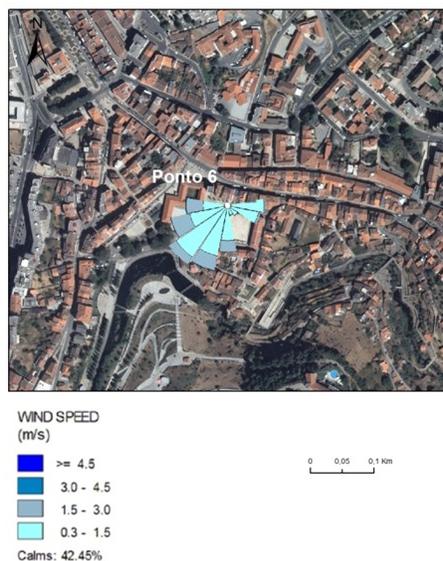


Figura 22 – Gráficos de vientos para el punto 6

En cuanto a los datos del punto 12 (**Figura 23**), situado en una calle asociada a un espacio de media densidad residencial (UMR), los resultados demuestran un comportamiento semejante al registrado en el punto 6, con una predominancia de los vientos al largo del eje de la calle, con una evidente atenuación de los vientos originarios en los demás cuadrantes.



Figura 23 – Gráfico de vientos para el punto 12

El análisis de la intensidad y dirección del viento en contextos urbanos específicos no permite, sin embargo, generalizar las interpretaciones locales para la globalidad del espacio urbano. Los datos presentados demuestran, en todo caso, la ocurrencia de procesos asociados a la interacción entre el viento y las estructuras urbanas, incluyendo los efectos de la rugosidad y de la canalización del viento en el espacio urbano.

3.4 Mapas de Isolneas

La presencia de una densa red de monitoreo de la temperatura y de la humedad permite la aplicación de métodos geoestadísticos para la interpretación de los datos meteorológicos, que conllevan a la creación de mapas de isolneas. En este proyecto se recurrió a técnicas de *Krigage* Simples como método de referencia.

En la construcción de los mapas de isolneas se usaron valores medios de las máximas y de las mínimas de temperatura y humedad para cada una de las estaciones del año. Contrariamente al análisis del EICU, no fueron considerados valores corregidos, porque se pretende analizar los efectos combinados de todos los factores que actúan sobre el clima urbano, no apenas aquellos que resulten de transformaciones inducidas por las estructuras urbanas.

3.4.1 Isolneas de temperatura

Las isolneas de las medias de las máximas y mínimas de temperatura son presentadas en la **Figura 24**. Porque representan condiciones muy distintas del punto de vista del comportamiento de esta variable, el análisis se hace por la interpretación separada cuanto a la media de los valores máximos y mínimos para cada estación del año.

El análisis del mapa de isolneas para las medias de las temperaturas mínimas permite una aproximación a la interpretación descriptiva de los siguientes procesos climáticos:

- Los valores más bajos para las temperaturas mínimas ocurrieron invariablemente en el contexto peri-urbano, en los vales y zonas adyacentes. Este proceso está naturalmente asociado al drenaje de masas de aire frío en espacios culminantes de los puntos más bajos de los vales de montaña y a las condiciones de ventilación/estagnación térmica de esos locales. Este proceso tiene repercusiones en los valores registrados en los puntos 15, 16 y 20, siendo clara la relación de continuidad entre los dos primeros puntos;
- Los valores más elevados para las temperaturas mínimas se registran en los locales donde la intensidad del EICU asume mayor preponderancia y que corresponde a las ZCL en las que predominan los suelos impermeabilizados y los edificios con una mayor volumetría y densidad. Ese es claramente el caso extremo de los puntos de la zona más central de la ciudad, que adicionalmente se encuentran protegidos por alguna rugosidad urbana;
- Se constata además existir un incremento de la temperatura mínima en los puntos más altos, como resultado de los procesos de inversión térmica nocturna, que fueron predominantes en el período de análisis, y que se registraron en períodos de mayor estabilidad.

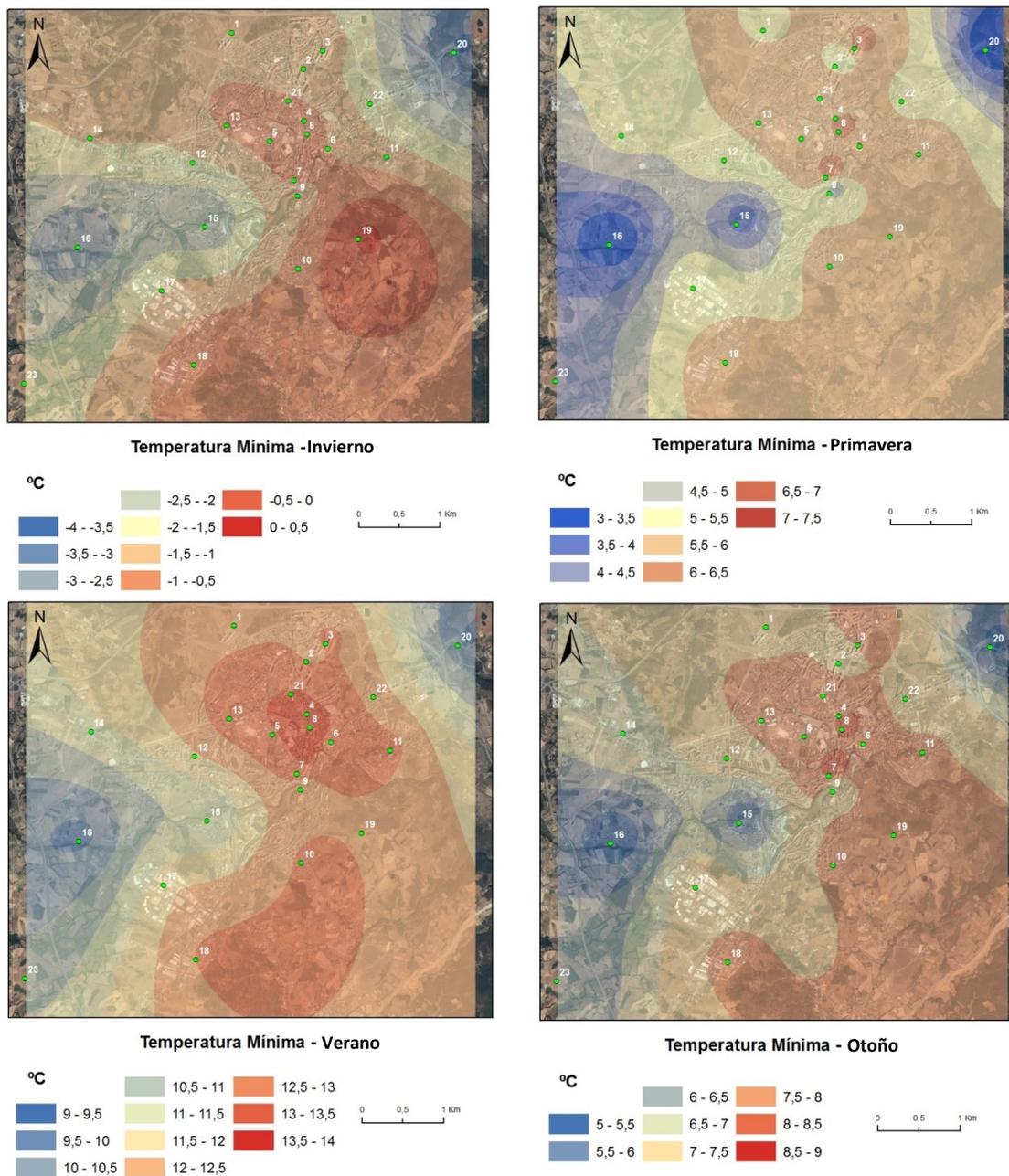


Figura 24 – Isoleñas de medias de las temperaturas mínimas diarias, por estaciones del año.

El comportamiento de la temperatura asume una natural variación a lo largo de las estaciones del año, se verifica, sin embargo, una intensificación de los procesos anteriormente descritos asociado a los valores medios del período de Verano, donde las diferencias en las medias de las temperaturas mínimas alcanzan diferencias próximas del 5°C, ligeramente por encima de las registradas en las restantes estaciones del año.

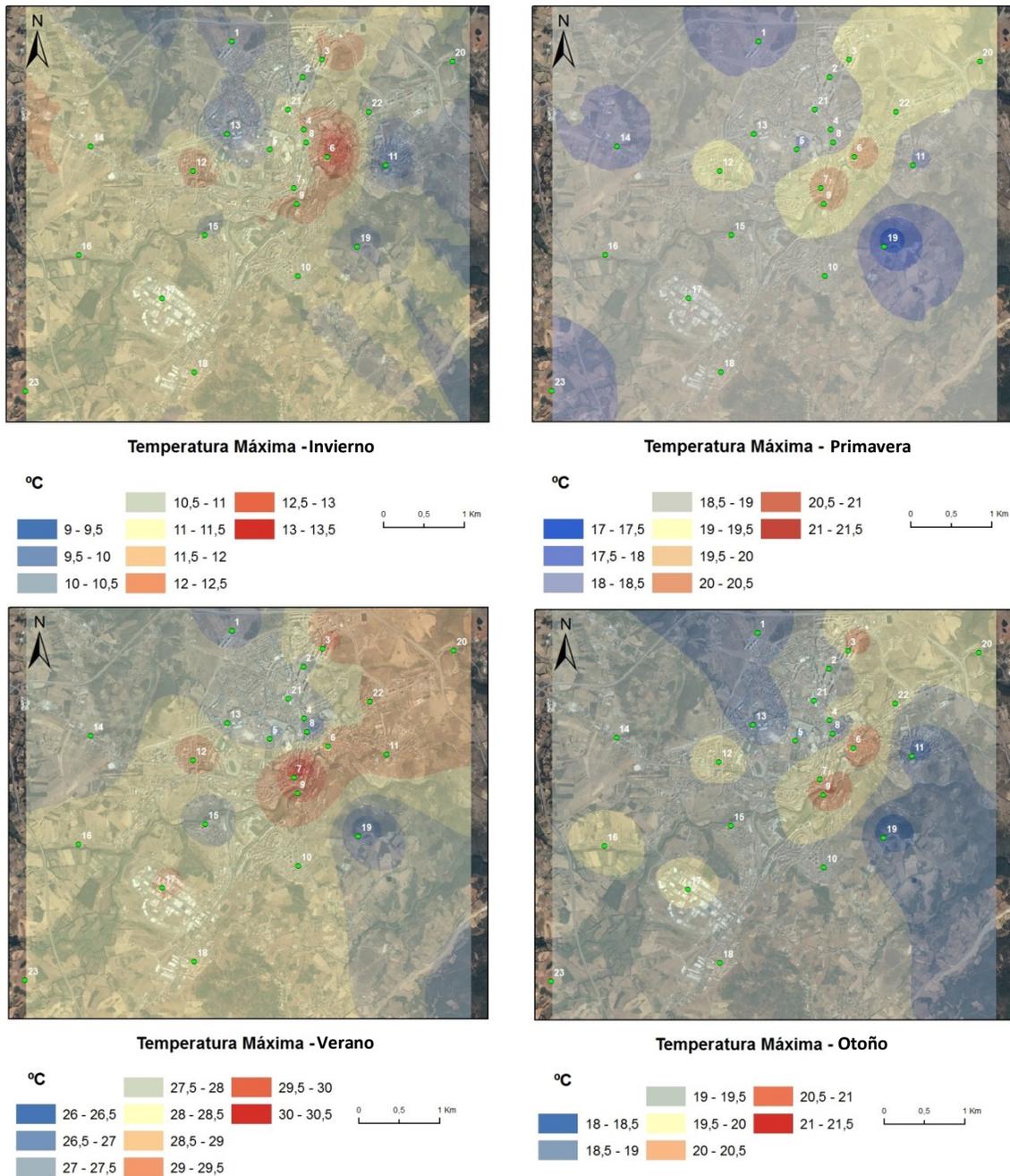


Figura 25 – Isolneas de medias de las temperaturas máximas diarias, por estaciones del año.

El análisis del mapa de isolneas para las medias de las temperaturas máximas (**Figura 25**) asume una mayor complejidad, cuando comparando con las interpretaciones de los valores anteriormente presentados para las mínimas. Las temperaturas máximas son condicionadas, a semejanza de otras variables, por el comportamiento del ambiente radiactivo, que, sin embargo, es más complejo durante el día, como resultando de una amplia diversidad de procesos de

microescala, como los efectos de la incidencia de sombra sobre el entorno de los locales de monitoreo. Aun así, pueden identificarse algunas situaciones particulares:

- Algunos sensores localizados en los puntos más intensamente urbanizados son los que presentan un registro más elevado para la media de las temperaturas máximas, como en los casos de los sensores 6 y 7;
- Los puntos de mayor altitud en el contexto urbano y periurbano presentan medias más bajas para las temperaturas máximas, por oposición a los puntos más bajos donde se alcanzan medias más elevadas para los valores máximos de esta variable.

Como puede ver en la **Figura 25**, a excepción del comportamiento de los sensores anteriormente mencionados, no es posible identificar un comportamiento plenamente coherente para muchos valores, puesto que existen variaciones entre puntos próximos motivadas por procesos microclimáticos.

3.4.2 Isolneas de humedad relativa

La interpretación de las observaciones de la humedad relativa se debe hacer, en el contexto local, conjuntamente con el análisis de la temperatura del aire.

La **Figura 26** presenta los valores de la media de los valores máximos diarios de la humedad relativa, donde es clara la relación entre estos valores y los correspondientes a la media de las temperaturas mínimas (**Figura 24**), lo que hace con que sean los puntos donde se alcanzaron las temperaturas más bajas, aquellos en los que la humedad relativa es más elevada. Este hecho se debe a la relación existente entre estas dos variables, que determinan que sea en los puntos de acumulación de aire frío, por la noche, donde se alcancen los valores más elevados de humedad relativa.

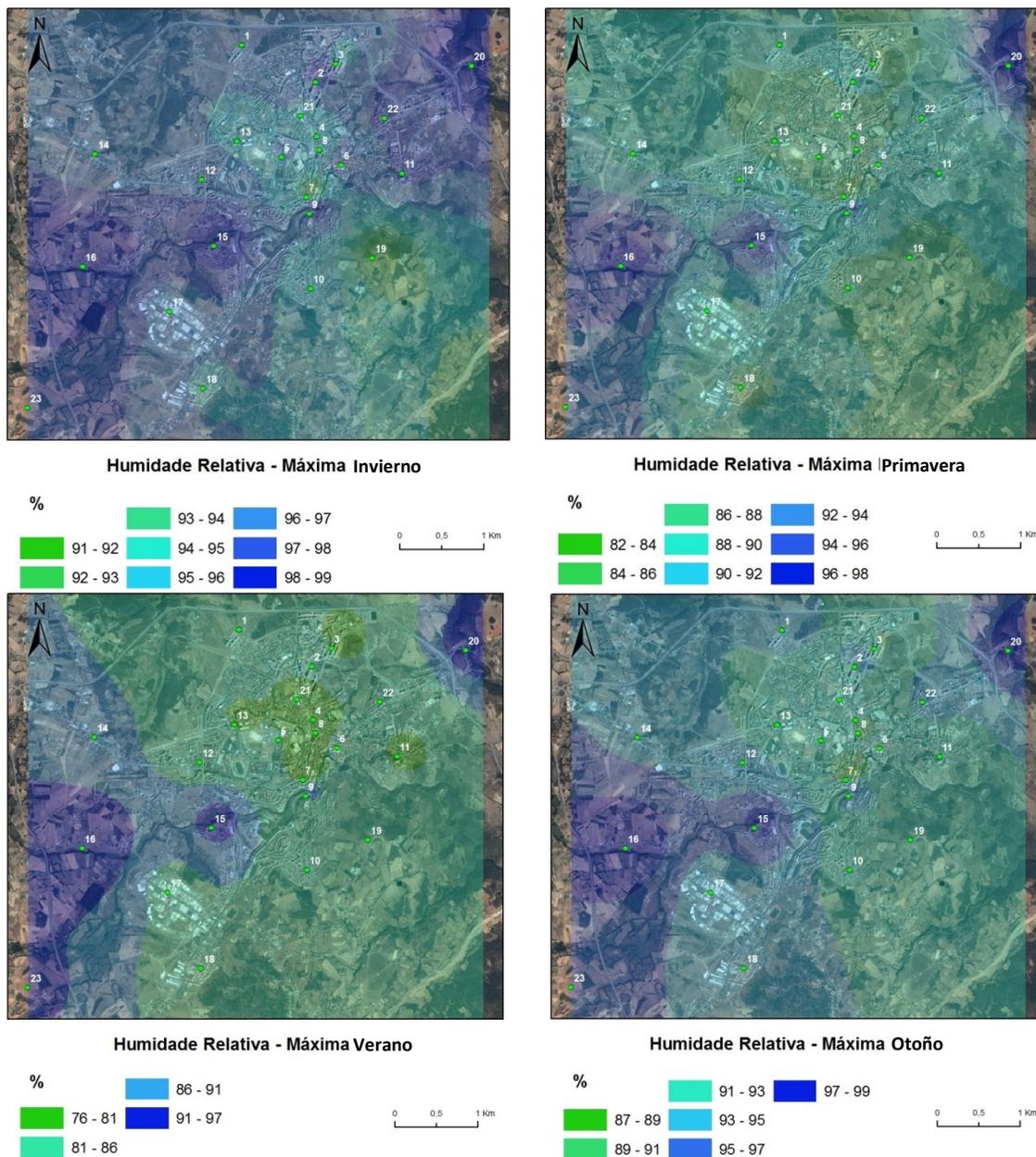


Figura 26 – Isolinias de medias para la humedad relativa máxima diaria, por estaciones del año.

En lo que concierne a las isolinias de la media para los valores mínimos diarios de la humedad relativa (Figura 27), se constata existir una correspondencia entre estos mapas y los valores de la media de las temperaturas máximas (Figura 25). En esta representación aproximada de la variación de la humedad relativa es visible la existencia de una relación entre los locales donde se alcanzan las temperaturas más elevadas y as condiciones de menor humedad relativa.

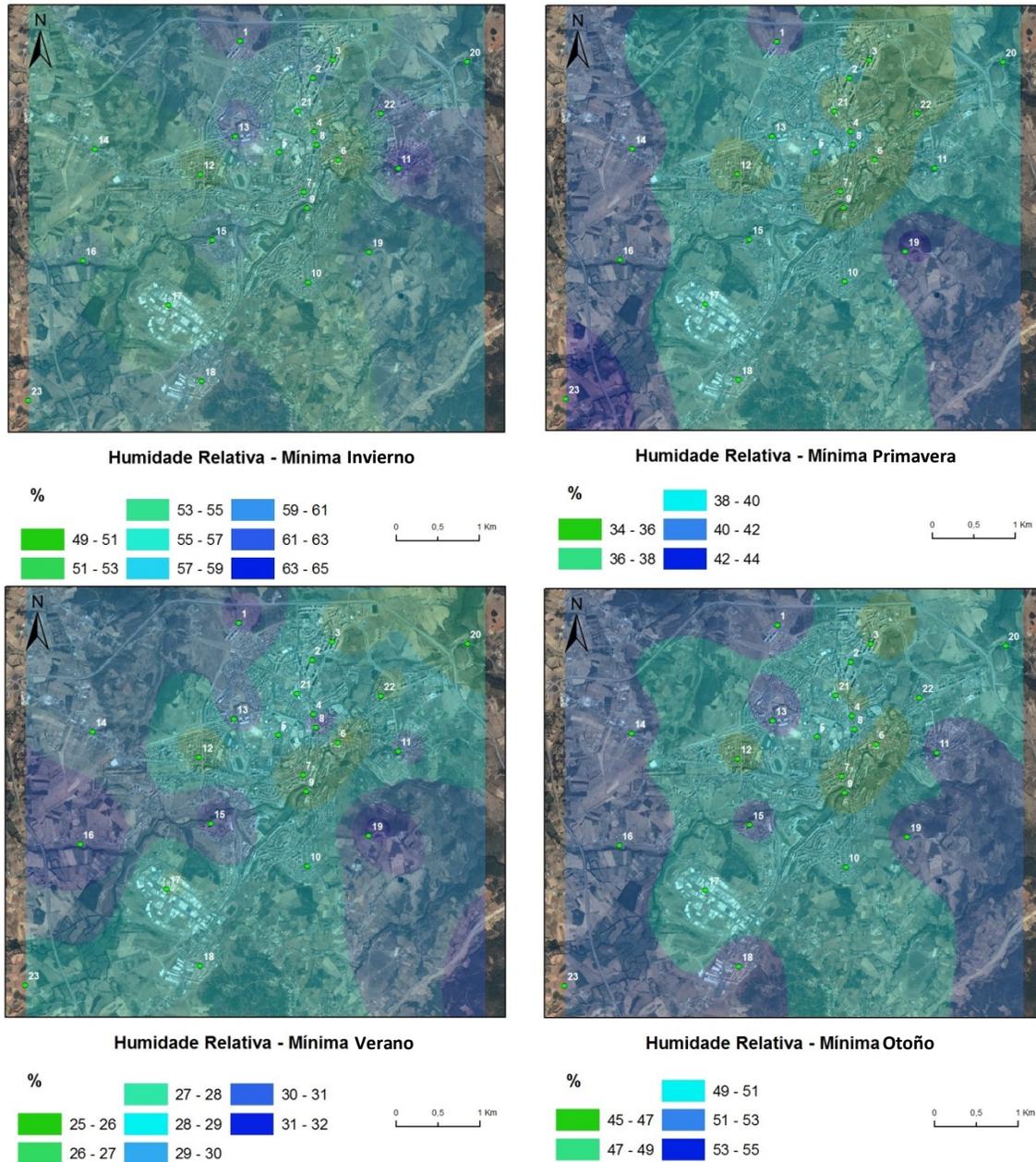


Figura 27 – Isolinias de medias para la humedad relativa mínima diaria, por estaciones del año.

Considerando los valores de referencia para la condición de confort exterior previstas en el diagrama de Olgay (1998 [1963]), se constata que los valores medios de la humedad relativa están por encima de los valores mínimos de referencia para la condición de confort, situada en los 20%. Analizando los valores medios diarios de la humedad relativa máxima, por contraste, se registraban valores superiores, en gran parte de los locales, al valor de referencia para la humedad máxima de confort, situada en los 80%, ese límite se alcanzó de modo más generalizado y frecuente en el período de Otoño e Invierno, estando generalmente asociado a períodos de mayor pluviosidad.

4 Mapeo del Clima Urbano

Como se describe en el guía metodológico, el mapeo climático se procesa por la superposición de capas sucesivas de información, que describen características del espacio urbano y del contexto territorial, con influencia sobre las condiciones meteorológicas que posibilitan la descripción de los procesos climáticos existentes en el contexto local.

El proceso de mapeo climático tuvo como punto de partida la definición de las áreas correspondientes al concepto espacial de “manzana” urbana, para las cuales fue atribuida una caracterización correspondiente a una tipología de Zonas Climáticas locales (ZCL), teniendo como referente la metodología propuesta en el proyecto BIOURB, de la cual resultó el mapa presentado en la **Figura 28**. En base en la identificación de estas unidades fundamentales, fueron incorporados indicadores de caracterización de cada una de estas unidades básicas del espacio urbano.

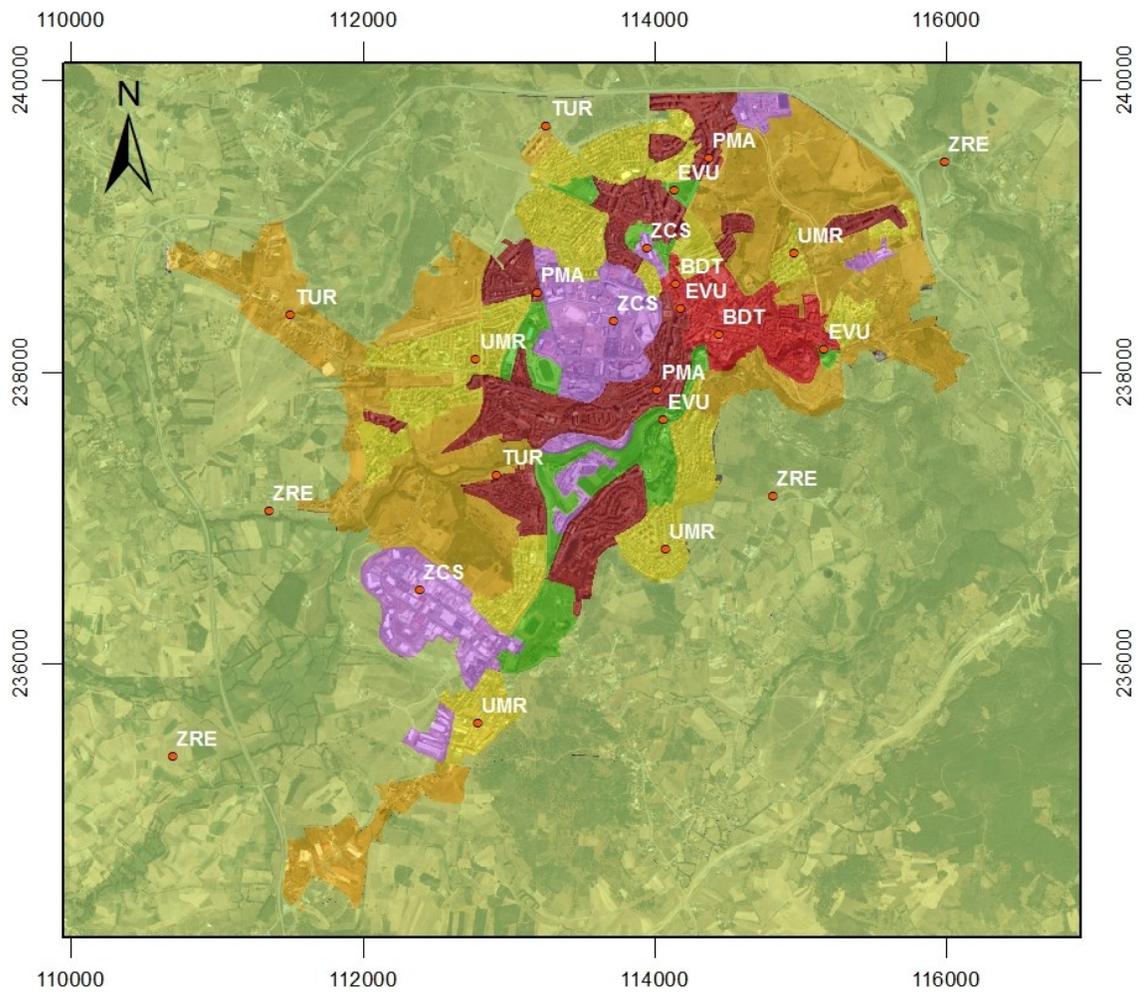


Figura 28 – Zonas climáticas locales de Bragança y la localización de los sensores de temperatura y humedad

4.1 Carga Térmica Potencial

El mapeo de la carga térmica traduce la presencia de procesos precursores del EICU, que, como presentados anteriormente, asumen variaciones a lo largo del día. Para esta capa se consideraron tres elementos de caracterización: porcentaje de superficie edificada, volumen del edificado y potencial enfriamiento por zonas verdes.

4.1.1 Fracción del suelo ocupada por Superficies Artificiales

La elaboración de este mapa resultó de la identificación, en ortofotos, del conjunto de suelos ocupados por edificios y estructuras artificiales. Por la disponibilidad de la información relativa a los espacios no edificados, que componen el “negativo” de esta camada, se asumió primeramente la actualización de estos espacios “verdes” para después, por diferencia, establecer la capa de espacios artificiales. El mapa resultante de este análisis, en la forma de una escala de cuatro clases regulares, se presenta en la **Figura 29**.

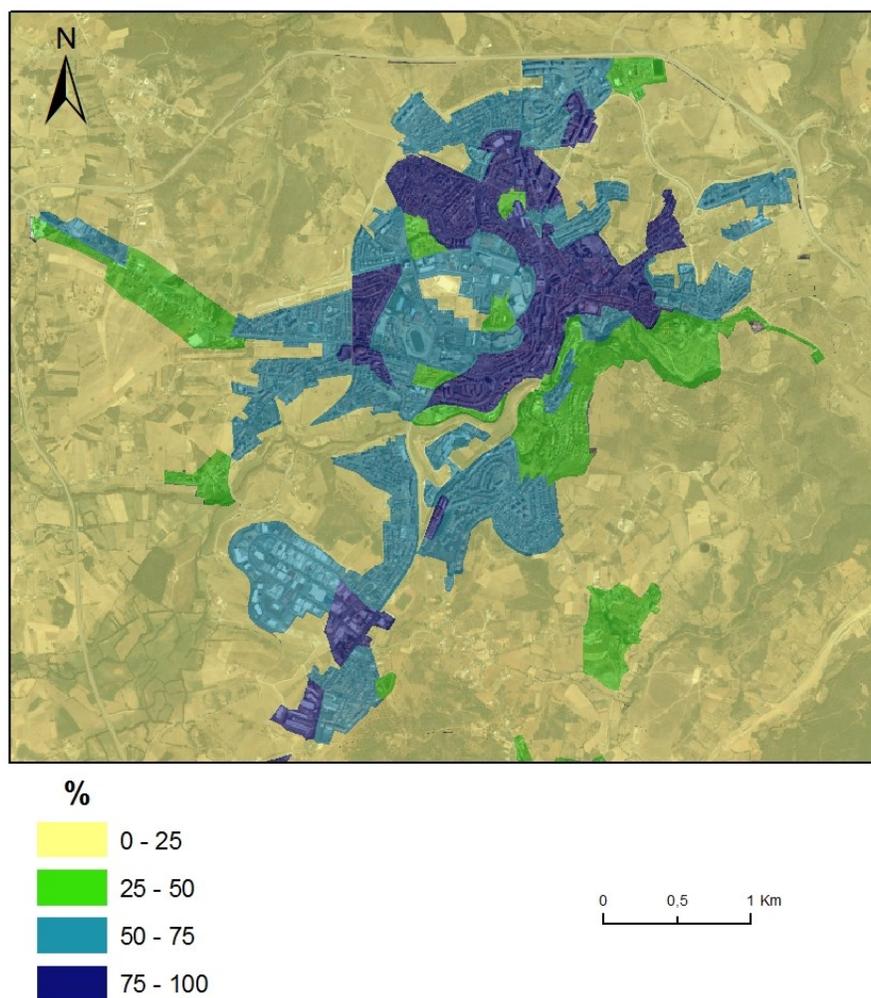


Figura 29 – Fracción del suelo ocupada por Superficies Artificiales, en porcentaje.

4.1.2 Volumetría del edificado

El mapeo de la distribución espacial de la volumetría del edificado, por intermedio del Índice Volumétrico, fue calculado teniendo por base la misma referencia espacial de análisis, la “manzana”, siendo incorporados en el proceso los valores aproximados de la volumetría del edificado. Esa volumetría fue estimada considerando el número de pisos (multiplicado por la altura media entre pisos) y el área de inserción de cada edificio. El mapa resultante se presenta en la **Figura 30**.

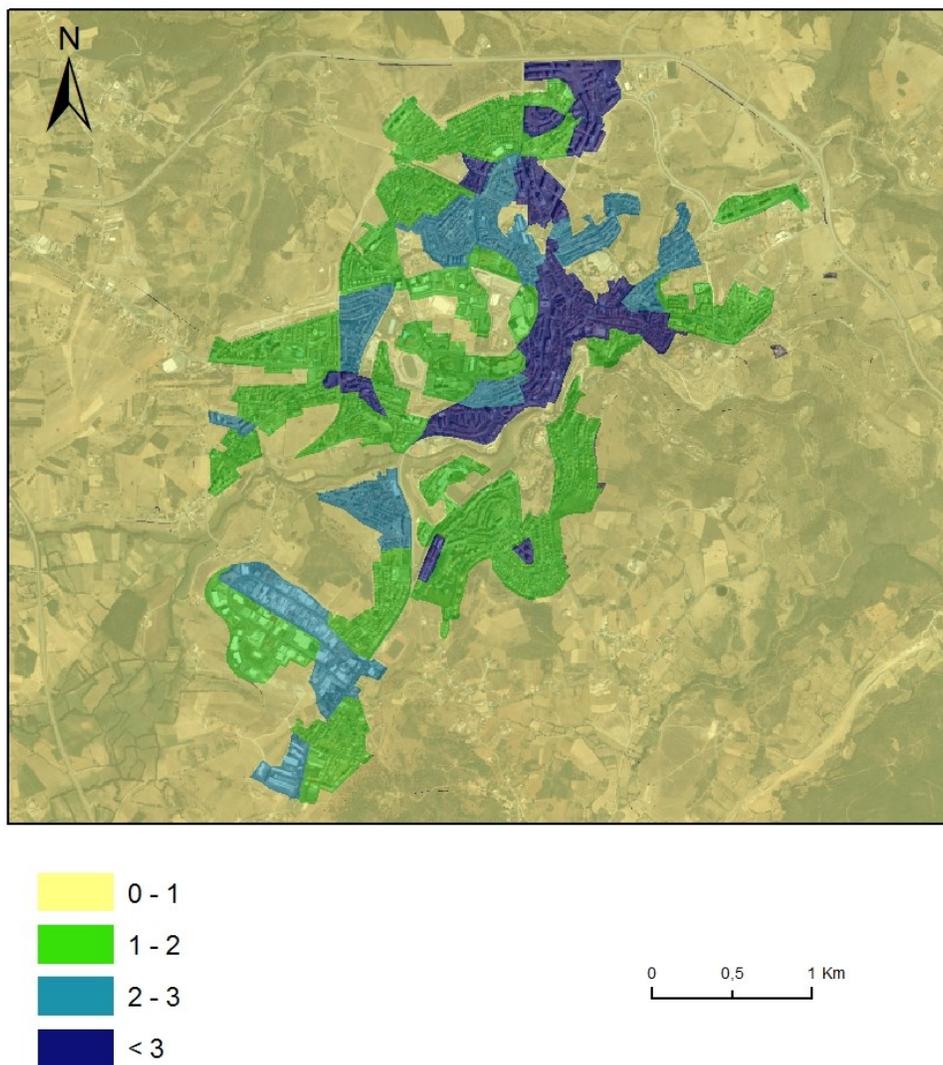


Figura 30 – Índice Volumétrico (metros)

4.1.3 Áreas verdes (Potencial de enfriamiento)

Los espacios verdes son un importante elemento en la atenuación del EICU y pueden aun ofrecer condiciones micro-meteorológicas favorables a la utilización de los espacios exteriores. Para la definición de esta categoría de espacios, apenas se consideraron los espacios con vegetación con más de una hectárea de superficie.²

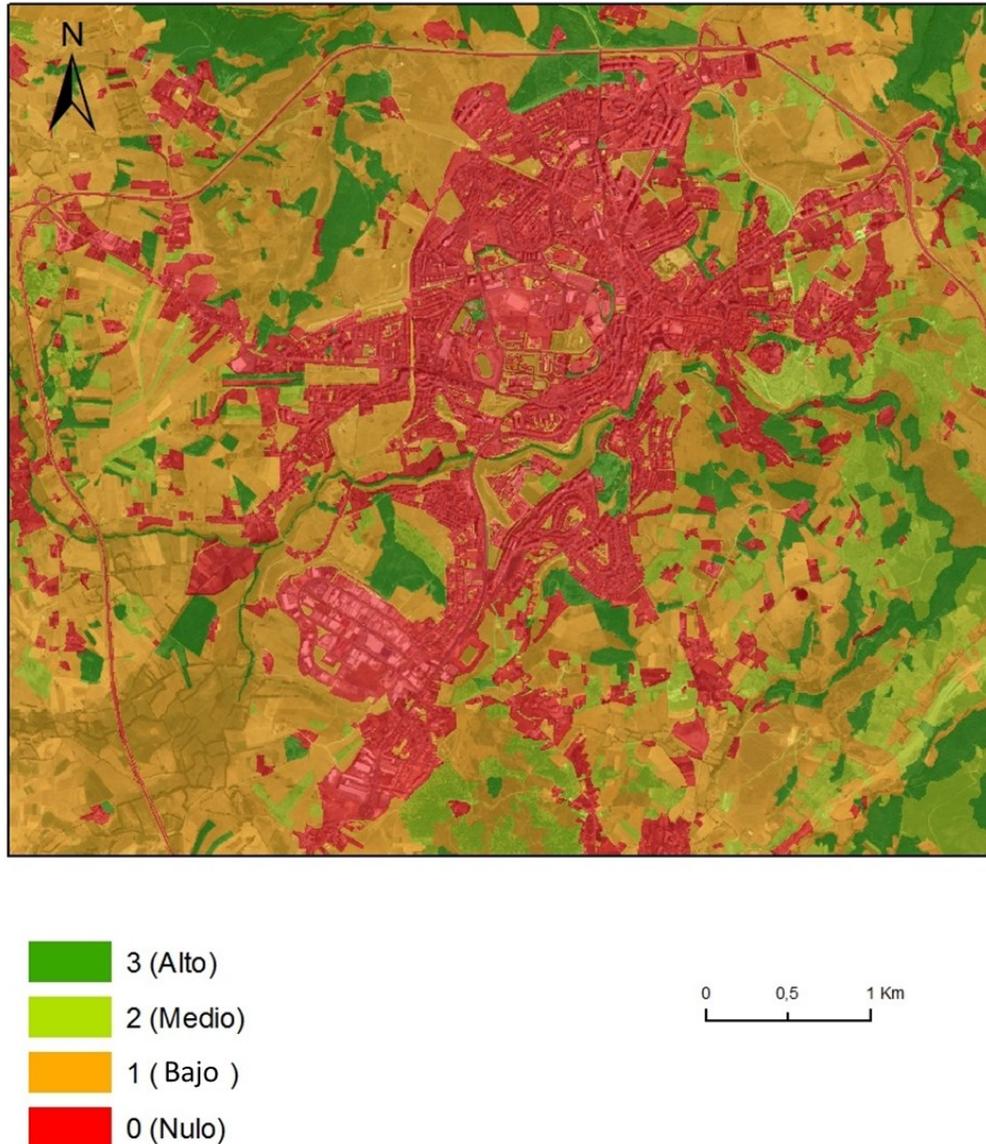


Figura 31 – Potencial efecto de la vegetación en la atenuación de la acumulación de calor. Vegetación predominante: 0 – Sin Vegetación, 1 - herbácea, 2 - arbustiva y 3 – arbórea.

² Cabe recordar que la presencia de vegetación en las “manzanas” es ya incorporada cuando considerado el porcentaje de espacios artificiales en su interior.

Los datos relativos a cada espacio verde urbano fueron organizados para incluir su subdivisión en tres categorías de cobertura vegetal predominante (**Figura 31**): vegetación herbácea, vegetación arbustiva y vegetación arbórea.

4.1.4 Mapa de síntesis

La combinación de las capas de información presentadas permite la construcción de un mapa con una previsión de las principales características del comportamiento térmico de los distintos conjuntos de elementos presentes en el espacio urbano, incluyendo la combinación de los efectos asociados a las superficies, al edificado y a los espacios con vegetación.

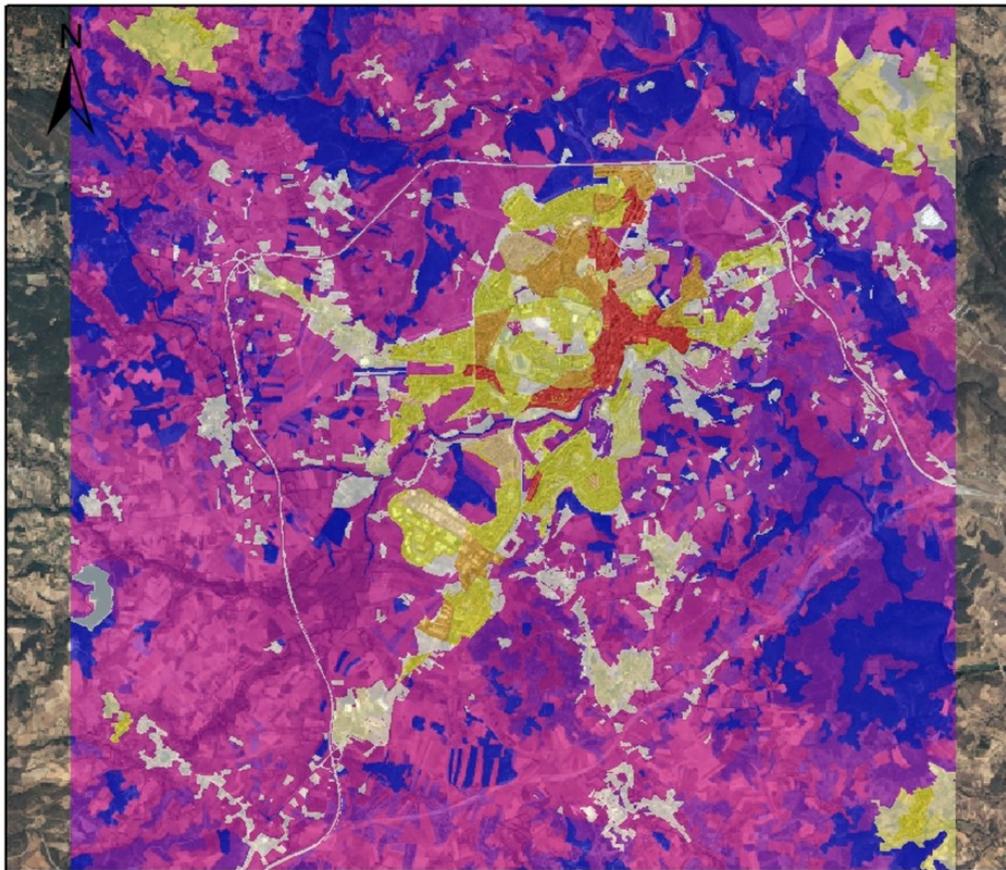


Figura 32 – Carga térmica potencial

El mapeo del potencial térmico (**Figura 32**), que se describe en la metodología de este proyecto, asume la definición de una escala de graduación de efectos potenciales, por superposición de las tres capas anteriormente presentas. Esta nueva escala asume una escala numérica, por

aproximación a las unidades, en que los valores más bajos reflejan la presencia de amplias superficies con vegetación arbórea, que ofrecen sombra y superficies de menor calentamiento, y en que, en el sentido opuesto, encontramos los espacios con una predominancia de los espacios edificados u ocupados con superficies artificiales, combinada con la relación entre la volumetría del edificado y la superficie de referencia. La combinación aritmética de estos factores refleja un incremento del potencial para la ocurrencia de procesos de acumulación de calor y de formación del EICU.

4.2 Factores Dinámicos Potenciales

En el análisis de los factores dinámicos potenciales se asume una construcción diferenciada de la presentada para la Carga Térmica. En este análisis se asumen dos lecturas complementarias: la que resulta de los efectos topográficos, con variaciones a lo largo del día y que determinan una interacción con procesos de meso-escala; y la interacción con los vientos dominantes, dependiente de las condiciones sinópticas y de procesos de interacción en la meso-escala.

4.2.1 Análisis topográfico

Para mejor comprensión, el análisis topográfico puede desagregarse en componentes distintas: la que corresponde a los procesos asociados a las formas cóncavas; y la que corresponde a las formas convexas del territorio. Adicionalmente pueden aun ocurrir procesos asociados al recorrido de las masas de aire entre ambos espacios, como en el caso de las brisas de ladera.

En la **Figura 33** se presentan los resultados de la aplicación del modelo de análisis topográfica (Topographic Position Index - TPI) para la identificación de los espacios de fondo de vale y de su entorno. En estos espacios se asume ocurrirá la acumulación de masas de aire frío drenadas por las laderas de los vales, lo que favorece la ocurrencia de temperaturas mínimas en este contexto, registradas en el período nocturno, poco antes del amanecer. Este fenómeno tendrá a ocurrir con mayor intensidad en los períodos en los que la atmosfera presente condiciones de mayor estabilidad.

En el período diurno, en contexto de relieve complejo, se constata que es en estos locales cóncavos donde se deberán alcanzar temperaturas más elevadas, por oposición con los locales situados a mayor altitud. Este comportamiento se debe a la variación del perfil de temperatura, que en el periodo diurno tiende a presentar una disminución con la altitud.

A lo largo del tiempo, la ciudad de Bragança ha crecido sin apenas ocupar los espacios en los locales más bajos de los vales y en particular las zonas en las que estos procesos podrían asumir una mayor intensidad, como en el caso del vale de la “Veiga de Gostei” o incluso del campus de Santa Apolónia. Persisten aun así algunas superposiciones, registradas en una estrecha franja junto al río Fervença, en parte de la zona central de la ciudad, junto a las cuestas del castillo y en el entorno de la Avenida del Sabor.

La **Figura 34** representa, de nuevo con la interpretación por el indicador TPI, los locales que están asociados a las formas convexas del terreno y donde se incluyen las zonas de cimas (o cumbre) y laderas que les son adyacentes. Estos espacios, naturalmente asociados a la

rugosidad del territorio, son espacios más expuestos a los vientos regionales, en particular en las cumbres y laderas más expuestas a los vientos dominantes.

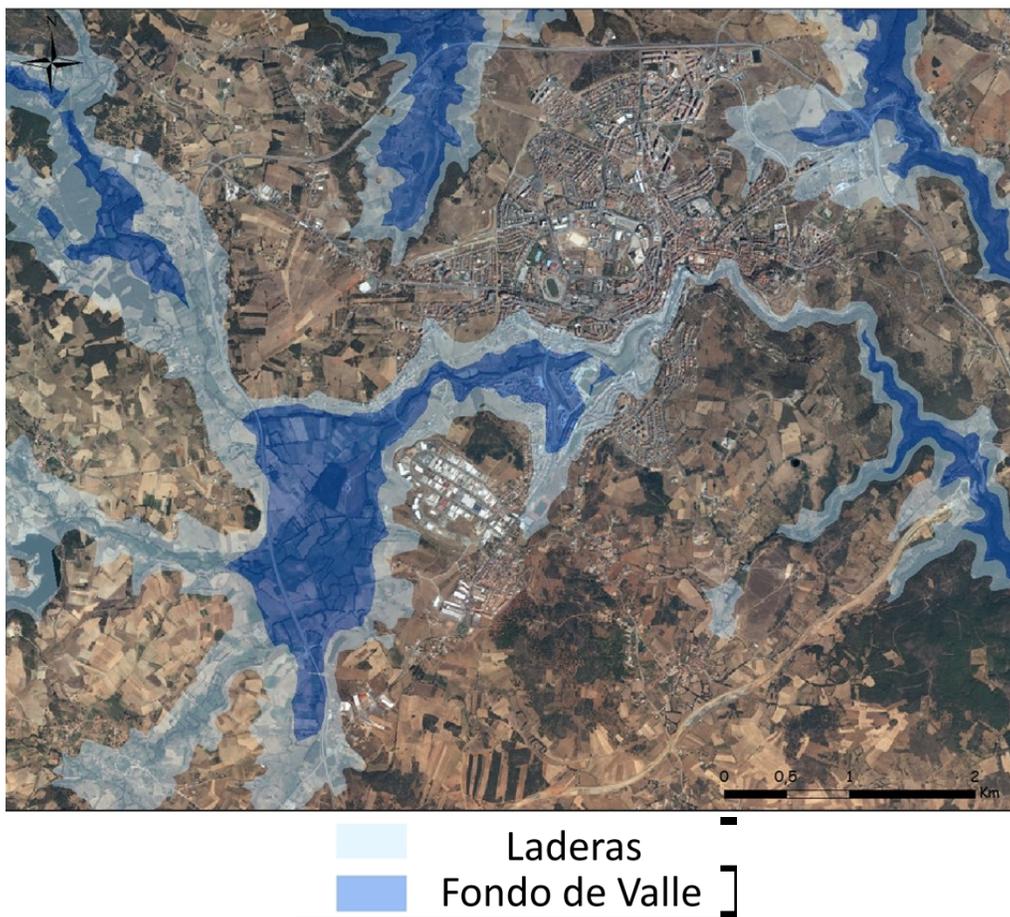


Figura 33 – Zonas de acumulación de masas de aire frío en los fondos de valle y en los espacios iniciales de sus laderas

Con el proceso de expansión urbana, la ciudad de Bragança tuvo, en las últimas décadas, un crecimiento que ha ocasionado la ocupación de algunos de los espacios identificados con cumbres y primeras laderas. En estos espacios es expectable que se registren diversos procesos incluyendo: una mayor exposición a los vientos de fondo de mayor intensidad, cuando estos incidan sobre los cuadrantes más expuestos de estas cumbres (o cimas) y de sus laderas; en contextos de mayor estabilidad atmosférica y en el período nocturno, el drenaje de masas de aire frío, en las laderas y en el sentido descendiente, influencia las condiciones térmicas de estos locales; finalmente, en contextos de mayor estabilidad y en el período diurno, y dada la variación de la altitud en el contexto local, es expectable la ocurrencia de temperaturas más bajas en los puntos más elevados, cuando comparadas con las temperaturas registradas en los puntos más bajos de los vales, debido al efecto de gradiente vertical de temperatura.

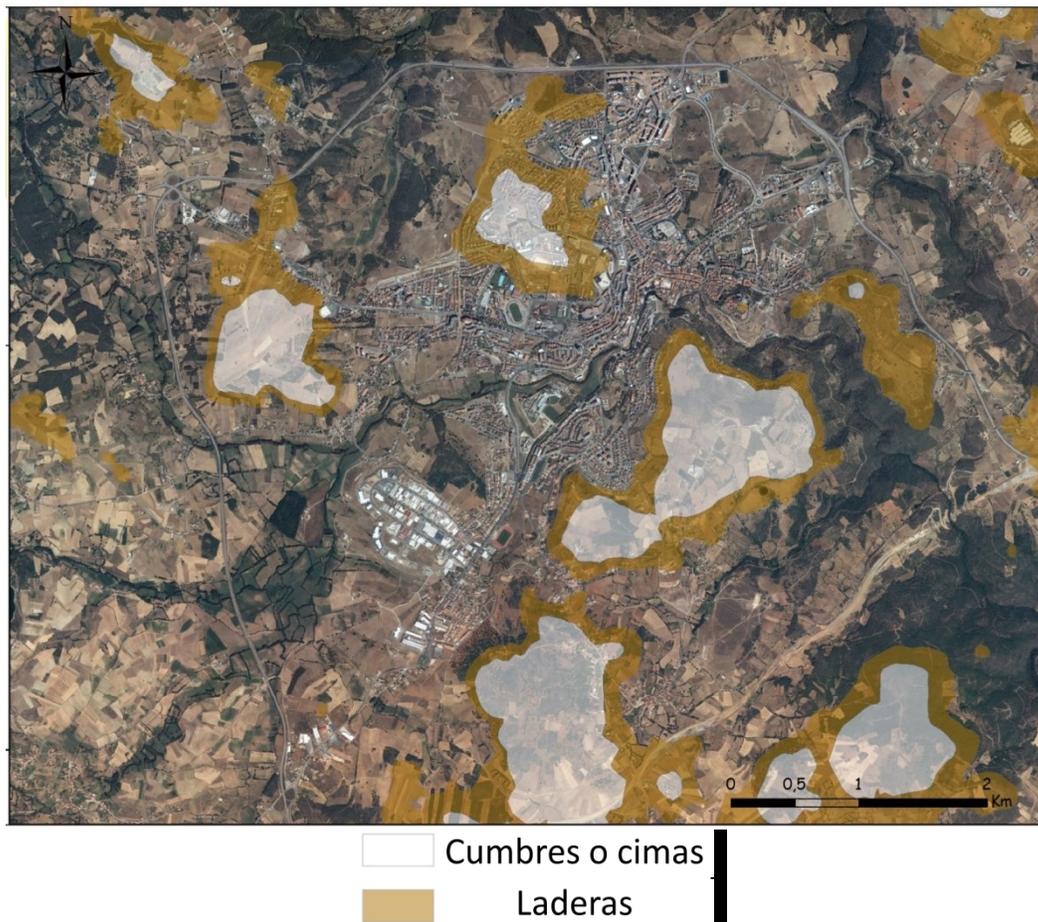


Figura 34 – Zonas de cumbres (o cimas) y primeras laderas en el sentido descendiente

Puede aún haber lugar a la formación de brisas de ladera, asociadas a contextos de mayor declive en contextos de montaña. Este proceso es residual en el contexto urbano de la ciudad de Bragança y será apenas representado en el mapa de síntesis de los factores dinámicos, considerando laderas con un declive superior a 25% de inclinación.

4.2.2 Rugosidad

La rugosidad resulta de la influencia potencialmente ejercida por las estructuras urbanas (u otros elementos territoriales) sobre la circulación del aire con efectos esperados en la intensidad y dirección del viento. Como observable por el análisis de los datos registrados en los sensores colocados en tres contextos urbanos particulares (**Figuras 21 a 23**), serán expectables efectos asociados a la rugosidad, incluso en contextos urbanos de media densidad, como en el caso de la clase UMR.

En el ámbito de este proyecto se considera existir un efecto potencial de la rugosidad cuando el índice de rugosidad (Z_0) es inferior a 0,5. Los espacios en los cuales son expectables efectos de rugosidad surgen representados en el Mapa de Síntesis de los Factores Dinámicos (**Figura 35**) como Zonas de Ventilación Residual.

Como previsto en la metodología, fueron aun identificados espacios con vegetación de porte predominantemente arbóreo, considerando apenas áreas con más de una hectárea. Esta

interpretación permite identificar efectos potenciales de la vegetación en las condiciones del viento en el entorno.

4.2.3 Representación del viento

La representación del viento es compleja, puesto que el comportamiento de esta variable puede asumir diferentes condiciones, dependiendo del comportamiento del viento de fondo y de las alteraciones en la dirección e intensidad registradas en el contexto local. De igual modo, los efectos de microescala asumen gran diversidad y complejidad. Por ese motivo, su representación apenas podrá sugerir efectos sobre la escala urbana.

Para la construcción del mapa de síntesis, se ha optado por representar los principales flujos de viento que inciden habitualmente sobre la ciudad, como sean: los vientos predominantes de oeste, que ocurren de modo recurrente a lo largo del año; el viento de sur que se registra con alguna frecuencia en el Otoño e Invierno; y por fin el viento de norte que asume una menor frecuencia, pero que está asociado a mayores intensidades. Esta representación se hace sobre las vertientes de la ciudad donde se espera se registre un mayor efecto del viento, antes de la atenuación por la rugosidad urbana.

4.2.4 Mapa de Síntesis

El Mapa de Síntesis de los factores dinámicos recoge la información relativa a las varias capas anteriormente presentadas y permite interpretar un amplio conjunto de procesos (**Figura 35**).

Los factores dinámicos no pueden ser interpretados de modo permanente, puesto que los efectos que se han descrito son variables y dependientes de procesos originados en escalas extraurbanas. De este modo, cabe considerar las siguientes condicionantes en la interpretación del respetivo mapa:

- La acumulación de masas de aire frío, no período nocturno, en los puntos más bajos depende de las condiciones de enfriamiento nocturno y de la estabilidad de la atmosfera, intensificándose en presencia de inversiones térmicas.
- El gradiente vertical de temperatura en el período diurno, frecuentemente caracterizado por una disminución en altura, depende de las condiciones atmosféricas prevalecientes, por lo que la intensidad de la variación vertical de la temperatura podrá asumir una gran amplitud de valores, siendo expectable la ocurrencia de tasas de variación más elevadas en situaciones de cielo limpio y de reducida intensidad del viento.
- El efecto aerodinámico de los edificios estará dependiente del modo como el viento incida en cada momento, considerando no apenas a intensidad como también la dirección del viento. En ese sentido, y como es patente en la interpretación de los datos de los sensores de velocidad y dirección, podrán ocurrir efectos localizados y variables dependiendo de las condiciones de ventilación/estagnación.
- En lo que concierne al efecto de rugosidad por vegetación, aunque se hayan considerado espacios con una predominancia del porte arbóreo, en conjuntos de alguna dimensión, su capacidad de interferir con el viento estará dependiente de múltiples

- factores, que incluyen la combinación de vegetación en diferentes estratos o la densidad de la área foliar, factor que podrá estar relacionado con la época del año en el caso de los árboles de hoja caduca.
- La formación de brisas de ladera descendientes (de mayor intensidad) depende de las condiciones de estabilidad atmosférica y deberá estar asociado a la acumulación de masas de aire frío en los puntos más bajos de los valles.

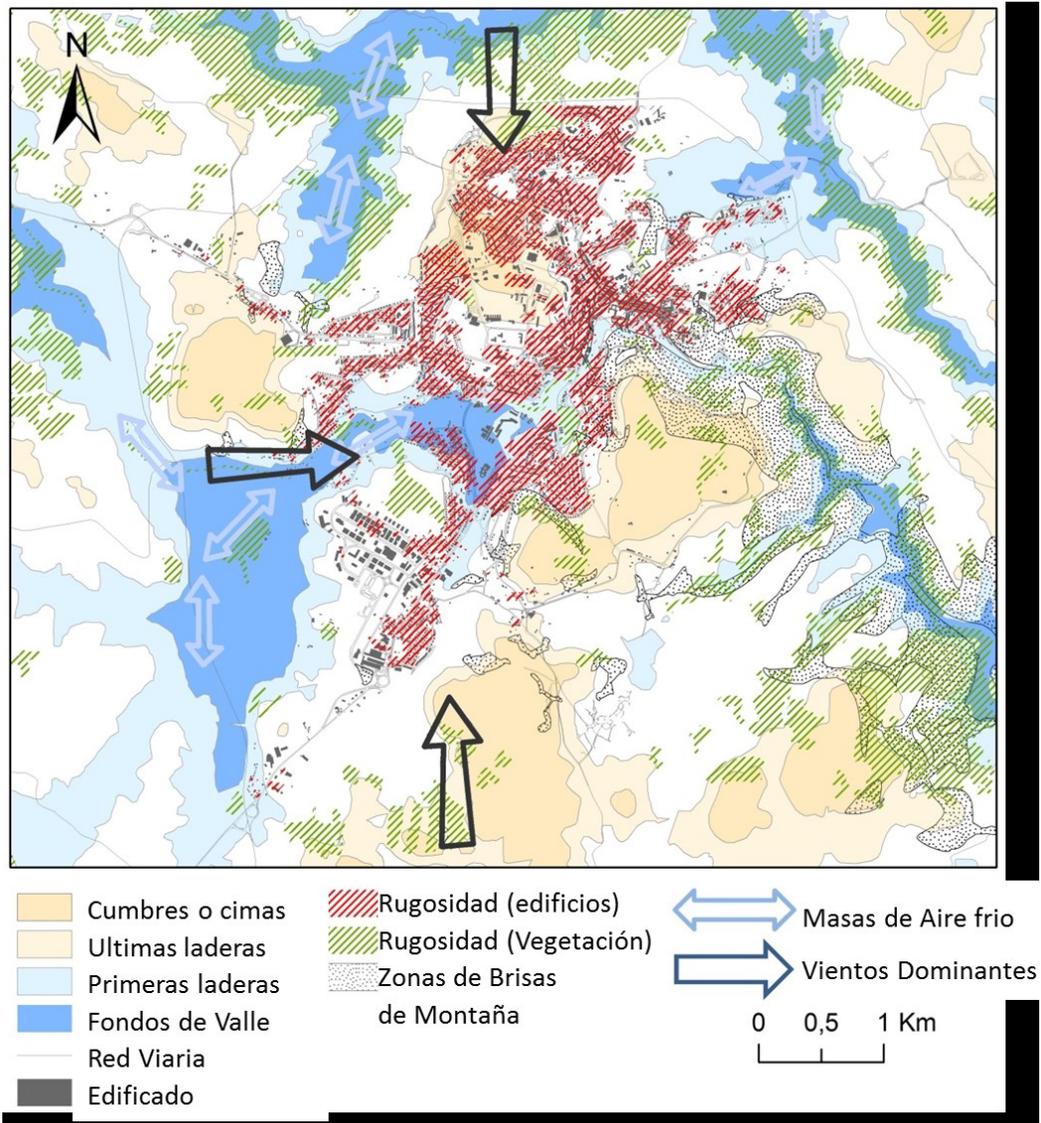


Figura 35 – Mapas de Síntesis de los Factores Dinámicos

4.3 Mapa de Síntesis Climática

Los mapas de análisis climático representan un conjunto alargado de procesos asociados al clima urbano. Son una síntesis de contextos climáticos anteriormente presentados. El mapa resultante asume un conjunto de situaciones que se agregan en un único mapa de caracterización (Figura 36).

La escala térmica agrega, en intervalos de clasificación, los efectos térmicos, resultantes del* comportamiento de las diferentes componentes urbanas sobre la acumulación potencial de calor en el espacio urbano. En este conjunto, las zonas clasificadas como de Calentamiento Residual corresponden a las grandes áreas de espacios verdes existentes en el centro de la ciudad y que presentan un comportamiento térmico más próximo del medio rural. Posteriormente, existe una graduación sucesiva de los efectos de acumulación de calor hasta al máximo calentamiento potencial registrado en los locales donde se verifica un uso más intensivo del suelo y una mayor concentración y volumetría de edificios.

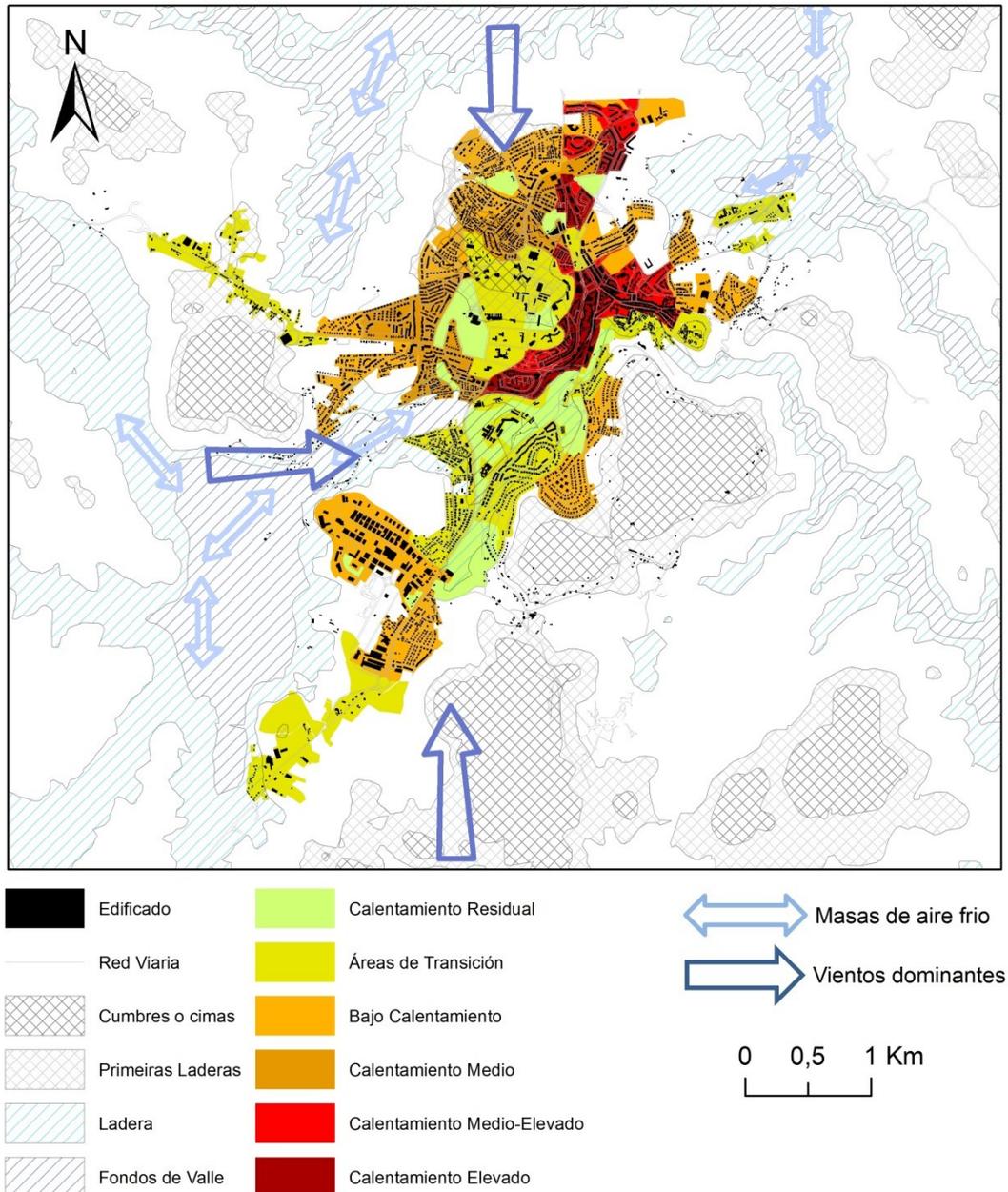


Figura 36 – Mapa de análisis Climática

En el mismo mapa se encuentran aún representados los principales efectos dinámicos, entre los que se destacan:

- Los efectos de la acumulación de masas de aire frío en los espacios de valle, que incluyen los puntos en el entorno de las líneas de agua y que asumen especial relevancia en las inmediaciones del río Fervença. En estos locales, es expectable una persistencia de temperaturas más bajas a lo largo del período nocturno;

- Los efectos de la exposición a los vientos de fondo, en particular en lo que respecta a la incidencia de vientos en las vertientes más expuestas, como sean las zonas de cumbres o de cimas y las laderas expuestas a los vientos dominantes. En este particular, cabe destacar la mayor exposición de la cumbre del Monte “São Bartolomeu” y de las laderas más expuestas a los vientos de sur y de oeste. Con mayor incidencia en el período de Invierno, siendo expectables efectos más significativos de los vientos de norte y de oeste en los barrios situados entre los espacios de la cumbre que domina la zona central de la ciudad y los barrios situados en las laderas con orientación para estos cuadrantes.

Por cuestiones de simplificación, los efectos de la rugosidad resultantes de la presencia de edificios y de vegetación están omisos del mapa de síntesis.

4.4 Definición de Estrategias de Intervención

La definición de estrategias resulta del proceso natural de mapeo y asume la necesidad de intervenir del punto de vista preventivo e/o correctivo en el contexto urbano. Para mejor comprender los requisitos de este tipo de interpretación debe, en primer lugar, conocerse las características del clima local y sus implicaciones para la calidad del ambiente térmico, en el interior y en el exterior de los edificios.

Como ampliamente discutido en el Manual de Diseño Climático, las características del contexto climático, clasificado en la escala de Koppen como un clima temperado con Inviernos suaves (*Csb*), determinan la predominancia de bajas temperaturas en gran parte del año, en particular durante el período nocturno, permaneciendo generalmente abajo del nivel de confort. En los meses más calientes y en particular en el Verano, las condiciones son muy distintas, con las temperaturas que alcanzan valores por encima de las condiciones ideales de confort.

Por la gran diversidad de condiciones térmicas registradas a lo largo del año no permiten identificar una estrategia única para el conjunto del espacio urbano y menos aún responder de modo único a los desafíos planteados por el clima local. De este modo, es necesario identificar contextos de intervención genéricos sobre los cuales se proponen estrategias que puedan contribuir para la mejoría de las condiciones climáticas locales.

Como presentado en la metodología del proyecto, en este punto serán presentadas indicaciones relativas a las opciones de planeamiento urbano y de intervención urbanística que permitan alcanzar los objetivos pretendidos. Su definición se basa, primeramente en una lógica preventiva, aunque en algunos casos se recomiende la intervención en el espacio urbano consolidado, en una perspectiva correctiva.

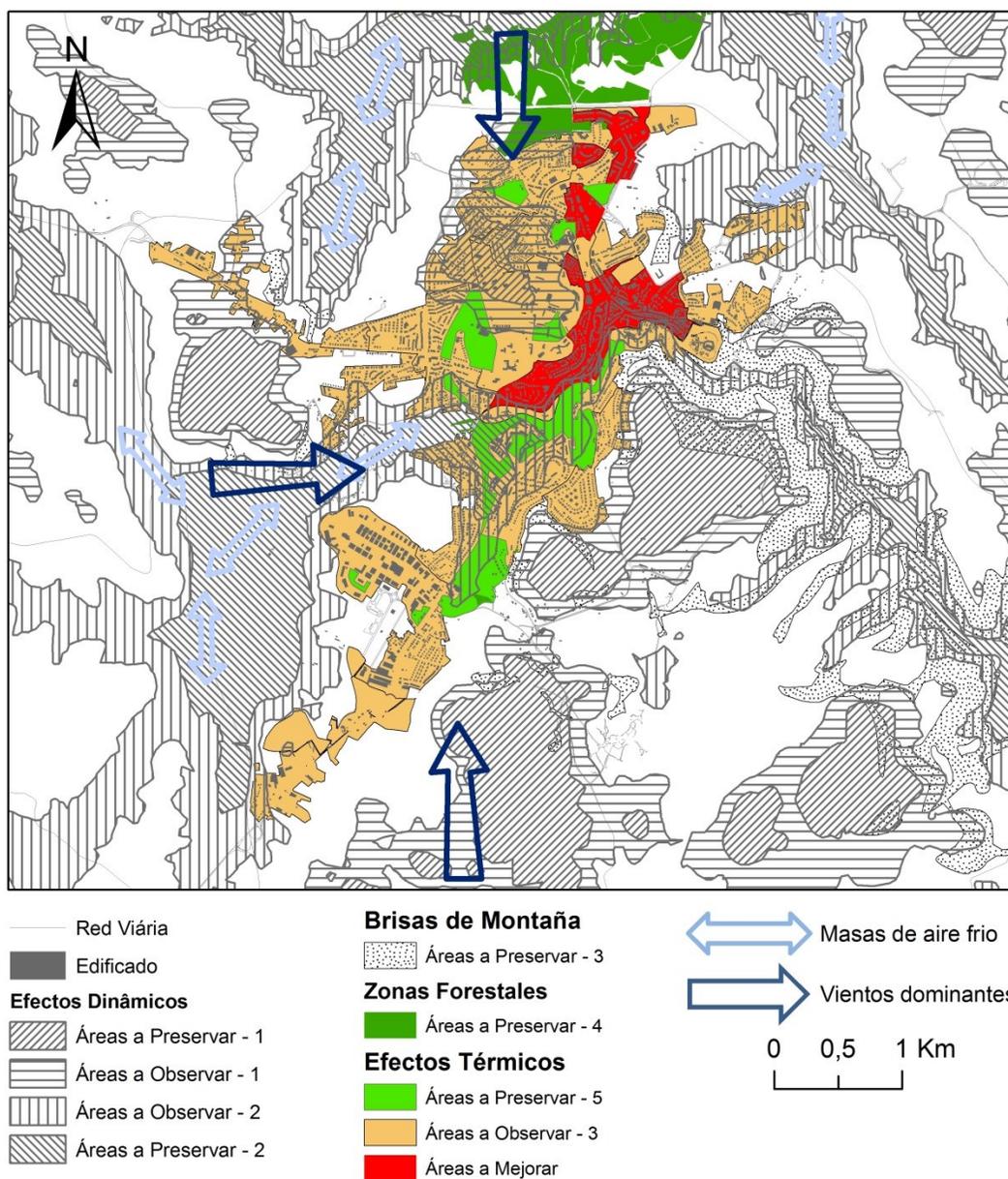


Figura 37 – Mapa de Recomendaciones

4.4.1 Medidas sobre los efectos dinámicos

Cumbres o cimas de montes – Áreas a Preservar 1

Las zonas de cumbres (o cimas) de montes están naturalmente más expuestas a los vientos de fondo, razón por la cual se asumen como espacios más vulnerables a sus efectos. Esta condición es particularmente relevante en los meses fríos, en los que el viento al incidir en los edificios puede acentuar las pérdidas térmicas e incrementar los requisitos de climatización en su interior. En estos espacios deberá evitarse la inclusión de edificios residenciales, debiendo privilegiarse la introducción de vegetación de porte arbustivo e arbóreo, aunque ocasionalmente pueda ocurrir la inclusión de edificios y estructuras no residenciales.

Puntos de acumulación de masas de aire Frio – Áreas a Observar 2

En lo que concierne a las primeras laderas en los espacios de vale, estas deberán igualmente ser objeto de alguna atención, debiendo, siempre que posible, evitarse la inclusión de edificios residenciales en estos locales, puesto que las condiciones topográficas son favorables a la ocurrencia de temperaturas más bajas, en particular en los períodos de mayor estabilidad atmosférica, con la ocurrencia de inversiones térmicas.

Cabe sin embargo subrayar que las limitaciones que se imponen a la disponibilidad de espacios para construcción en contextos urbanos requieren alguna densificación de los procesos urbanos, lo que a su vez justifica la urbanización de algunas de estas áreas, sin perjuicio de que esta acción deba apenas ser considerada frente a la ausencia de alternativas, siempre que la construcción se adecue a las características térmicas de esos locales.

La existencia de un espacio con una menor edificación en el entorno del río Fervença puede además contribuir para potenciar una mayor incidencia del viento en la zona central. Esta condición puede ser particularmente ventajosa en los períodos más calientes del año, donde la incidencia del viento puede atenuar los efectos de la acumulación de calor. Esta acción puede, sin embargo, inducir la pérdida de calor en los edificios durante los meses más fríos.

Áreas de mayor pendiente – Áreas a Preservar 3

La presencia de mayores pendientes en contextos de montaña puede originar procesos de drenaje de masas de aire frío, formando brisas de pendiente, y con mayor intensidad las descendientes, que irán ocurrir con particular incidencia en los días de mayor estabilidad atmosférica. Este proceso puede inducir la reducción de la temperatura y a la formación de viento localizado que podrá inducir pérdidas térmicas en los edificios.

En la actual configuración de la ciudad de Bragança son escasos los locales donde podrá ocurrir este tipo de fenómeno. Una excepción corresponde a las laderas de mayor pendiente del Monte “São Bartolomeu”. La evolución reciente de esta ciudad ha motivado la ocupación de locales de mayor pendiente, asumiendo una ocupación parcial de este espacio en el denominado barrio de “São João de Brito”.

Las zonas de mayor pendiente, consideradas en este estudio como aquellas que presentan un declive superior al 25%, pueden aun, cuando expuestas a orientaciones menos favorables, como en el caso de las orientaciones al norte entre los cuadrantes este y oeste, registrar condiciones exposición solar desfavorable. Este efecto, ampliamente debatido en el Manual de Diseño Bioclimático, asume una menor incidencia de los rayos solares y un mayor efecto de sombra por edificios y del propio terreno, siendo este un otro motivo por el cual se debe evitar la introducción de edificios en estos locales. Incluso en declives menores, el distanciamiento entre elementos construidos deberá ser mayor, cuando comparado con locales planos o semiplanos, para anticipar los efectos de la sombra entre edificios y sobre los espacios no edificados.

4.4.2 Comportamiento térmico del espacio urbano

Áreas a Preservar 4 y 5

Las áreas a preservar corresponden a los espacios verdes o zonas con una predominancia de superficies permeables y que asumen localizaciones centrales en el interior del núcleo urbano actual. Estos espacios podrán asumirse como zonas frescas, con particular utilidad en los períodos en los que las temperaturas son más elevadas. La manutención de estos espacios debe ser asegurada preferencialmente en la forma de espacios verdes públicos, aunque parte de los mismos puedan asumir otras configuraciones (espacios forestales o agrícolas).

La presencia de vegetación de porte arbóreo es particularmente útil en los meses de mayor calor, por la posibilidad de interceptar la radiación de onda corta, atenuando los efectos de su incidencia directa sobre los utilizadores, así como sus efectos sobre el balance radiactivo en la superficie. La presencia de vegetación de folla caduca puede aun ofrecer la posibilidad de mayor incidencia de la radiación en los meses más fríos, permitiendo de esa forma una transformación útil para el contexto microclimático local, con beneficios para el confort térmico de los utilizadores.

Áreas a acompañar 3

Como áreas a acompañar se pueden considerar un amplio conjunto de contextos espaciales, en los que la presencia de elementos urbanos se combina con elementos de menor impacto en el ambiente térmico local, por lo que el resultado traduce una menor intensidad de los efectos climáticos urbanos, incluyendo el EICU. En estos locales, la construcción más dispersa favorece la disipación del calor, mientras que la presencia de espacios con vegetación remete para una menor acumulación calor y alguna regulación climática.

Estos locales no presentan aun alteraciones significativas del clima urbano, por lo que la necesidad de intervención será menor, debiendo atenderse a aspectos de diseño bioclimático en los procesos que presupongan un incremento de la densidad en el proceso de urbanización. Para el efecto, deberá atenderse a las recomendaciones presentes en el Manual de Diseño Bioclimático Urbano.

Áreas a mejorar

Estas áreas corresponden a los contextos de mayor concentración de edificios y de estructuras artificiales, con una predominancia de suelos impermeables. En estos contextos, el EICU asume una mayor intensidad, con una influencia potencialmente negativa en los meses más calientes. Será también en estos períodos y en estos locales que serán expectables efectos particularmente negativos sobre el ambiente térmico diurno, siempre y cuando se combinen los efectos resultantes de la presencia de pavimentos, y otras superficies, que acumulen y emitan calor. Esta acción es igualmente favorecida por la mayor rugosidad de los edificios y estructuras presentes en estos locales, que puedan condicionar los efectos de la convección en la disipación del calor. Esta realidad es, sin embargo, invertida cuando considerados los efectos en los

restantes período del año, en que el EICU, así como los efectos microclimáticos favorecen la acumulación de calor, son genéricamente positivos.

Las estrategias que pueden ser asumidas para estos contextos son ampliamente discutidas en el Manual de Diseño Bioclimático, e incluyen la intervención sobre el planeamiento de las estructuras urbanas (con la configuración de calles y plazas), la relación con el viento, el agua y la humedad, los elementos de vegetación, los materiales y la adaptación del ciudadano.

5 Consideraciones Finales

El trabajo desarrollado en el ámbito del proyecto BIOURB, basado en la exhaustiva recogida de datos meteorológicos y en un estudio complementario de estrategias y opciones de diseño urbano, quiso definir un referencial para el planeamiento de ciudades adaptadas al contexto climático, sobre las cuales se podrán desarrollar iniciativas y proyectos bioclimáticos.

El análisis conjunta de los elementos de caracterización del contexto local (territorial y urbano) y de los datos meteorológicos, recogidos en la red local de monitoreo, permitió desarrollar una primera aproximación al proceso de mapeo climático urbano local. Entre los principales elementos de caracterización presentados, cabe destacar la complejidad topográfica del contexto territorial de la ciudad de Bragança como un elemento determinante en la identificación de muchos de los procesos climáticos, como en el caso de los procesos de drenaje y acumulación de masas de aire frío o de la expectable exposición al viento de fondo. A esta característica se asocia aun la elevada diversidad de tipologías de ocupación, determinada por la elevada variabilidad en la ocupación del espacio urbano, sin que con ello dejen de ser notorios sus efectos sobre el comportamiento térmico y dinámico del clima local. En este particular, la interpretación de los diferentes elementos de análisis fue precedida del desarrollo de mapas de caracterización, donde se presentan fronteras aproximadas de previsión de los procesos climáticos locales.

La instalación de una red de monitorización meteorológica constituye un importante elemento para la interpretación del clima local, permitiendo establecer un conjunto de relaciones entre las características del territorio y del espacio urbano y las condiciones meteorológicas presentes en diferentes locales de esta ciudad. Los datos meteorológicos permitieron identificar procesos presentes en el contexto de la ciudad de Bragança, añadiendo información muy relevante para el desarrollo de iniciativas de planeamiento urbano y diseño urbanístico.

Entre las principales constataciones de este estudio está la identificación de procesos diferenciados en el comportamiento térmico del espacio urbano frente al contexto rural del entorno, y que en el contexto local asumen la forma de islas térmicas, por los efectos de isla de frío urbano (EIFU) e isla de calor urbano (EICU). En particular, se constató que ambos los efectos asumen anomalías térmicas relevantes, que en contextos particulares pueden determinar impactos significativos para el confort térmico humano. Entre los efectos que se han descrito, el EICU asume en Bragança intensidades medias superiores a 4°C y máximas cercanas a 6°C, valores muy relevantes atendiendo al hecho que se trata de una ciudad de pequeña a media dimensión. El EICU asume una variación espacial identificable con recurso a isoclinas de temperatura, lo que permitió establecer una relación espacial con su ocurrencia en el interior de la ciudad.

Otras situaciones que fueron identificadas corresponden a los procesos dinámicos que resultan de la interacción del contexto territorial y urbano con los fenómenos meteorológicos de mayores escalas. Estos procesos determinan la formación de dinámicas de drenaje de masas de aire y el comportamiento de vientos y brisas a nivel local. El análisis de los datos recogidos

permitió identificar los procesos de drenaje de masas de aire frío, así como sus implicaciones sobre la temperatura del aire en diversos locales de la ciudad y de su entorno, determinando la presencia de valores mínimos de la temperatura en esos contextos territoriales.

Mayor complejidad asume aun la interpretación de los procesos de interacción entre el viento de fondo, determinado por las condiciones sinópticas, y los elementos territoriales y urbanos existentes en el contexto local. El presente estudio apenas permitió, en una interpretación centrada no contexto de (tres) locales de monitoreo, evidenciar potenciales efectos localizados, que podrán ocurrir de modo análogo en otros locales de la ciudad, con condiciones equivalentes.

Teniendo como elementos centrales de análisis un conjunto de mapas temáticos, se identificaron estrategias de planeamiento y se identificaron posibles zonas de intervención que puedan representar mejorías significativas para la calidad del clima urbano, estableciendo de este modo una relación con el Manual de Diseño Bioclimático de este proyecto.

Sin embargo, pese a los méritos de este trabajo, este se deberá considerar constituye un primer estudio de análisis y mapeo climático de la ciudad de Bragança, asumiéndose como una aproximación en el ejercicio de reconocimiento sobre el clima de esta ciudad. En este sentido, algunas de las variables deberán seguir siendo estudiadas e interpretadas en estudios futuros, debiendo ocurrir una consolidación de los datos meteorológicos, que exigen la recogida de datos en series temporales más largas. Buscando profundizar en el conocimiento sobre el clima urbano de esta ciudad, el Instituto Politécnico de Bragança procurará mantener la red de recogida de datos instalada, continuando la interpretación de los datos recogidos, consolidando de esa forma los estudios desarrollados en el ámbito del proyecto BIOURB.

Referencias Bibliográficas

- Azevedo, Á. L., Gonçalves, D. A., y Machado, R. M. A. (1995). *Enclaves de clima Cfs en el Alto Portugal: a difusa transición entre a Ibéria húmida ea Ibéria seca*: Instituto Politécnico de Bragança.
- Fariña Tojo, J., Fernández Áñez, M. V., Galvez Huerta, M. A., Hernández Aja, A., y Urrutia del Campo, N. (2013). *Manual de diseño bioclimático: Manual de recomendaciones para la elaboración de normativas urbanísticas* (A. Gonçalves, A. C. Ribeiro & M. Feliciano Eds.).
- Gonçalves, D. A. (1985). *Contribuição para o estudo del clima de la bacia superior del rio Sabor: influencia de la circulación geral y regional en la estrutura de la baixa atmosfera*.
- Gonçalves, D. A. (1991). *Terra Quente-Terra Fria (1ª aproximação)*. Instituto Politécnico de Bragança.
- Maia, F. (2013). *Caracterización de la Illa de Calor Urbano de Bragança*. (Mestrado), Universidade de Aveiro, Aveiro.
- Oke, T. R. (2004). *Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites*: World Meteorological Organization Geneva.
- Olgay, V. (1998 [1963]). *Arquitectura y Clima - Manual de Diseño Bioclimático para Arquitectos*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili.



biourb
diversidad | e bioconstructiva



Unión Europea
FEDER
Invertimos en su futuro

