

CICLO DE ESTUDOS

Inundaciones Urbanas Pluviales en Matosinhos: Impermeabilización del Suelo, Esgurrimiento Superficial e Implicaciones en la Ordenación del Territorio

Laura Marieta Ramírez Rojas

M

2023



Laura Marieta Ramirez Rojas

Inundaciones Urbanas Pluviales en Matosinhos: Impermeabilización del Suelo, Escorrimento Superficial e Implicaciones en la Ordenación del Territorio

Dissertação realizada no âmbito do Mestrado em Sistema de Informação Geográfica e Ordenamento do Território, orientada pelo Professor Doutor José Augusto Alves Teixeira e pelo Professor Doutor Pedro Manuel Pinto Dos Santos

Faculdade de Letras da Universidade do Porto

2023

A mis padres

Declaração de honra

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

Porto, 17-09-2023

Laura Marieta Ramirez Rojas

Agradecimientos

Agradezco a la Universidad de Oporto por haberme permitido integrarme a la formación académica en Sistemas de Información Geográfica y Ordenamiento del Territorio, que complementa mi desarrollo personal en el campo de la ecología urbana.

También doy las gracias al Concelho de Matosinhos, donde adelanté mi práctica, en una pasantía donde estuve rodeada de colegas y personas que me permitieron entender las propuestas de planificación de la ciudad.

La dirección de mi trabajo académico del Dr. Prof. José Augusto Alves Teixeira y el Dr. Prof. Pedro Manuel Pinto Dos Santos fue siempre acertado y me condujo a reflexiones sobre el tema de la planeación del territorio en áreas urbanas y ambientales.

La compañía de colegas y amigos, como Gonçalo Jarnalo, las conversaciones con personas relacionadas con el tema, como la geógrafa Rubiela Segura, y la sugerencia de lecturas fundamentales que apoyaron el desarrollo de la presente tesis.

Al final, agradezco a mi familia por su acompañamiento y su permanente preocupación por el desarrollo de este trabajo que cierra, en parte, mi proceso de formación académica en Portugal.

Gracias a todas las personas que, en diferentes momentos del proceso, con sus palabras, me dieron apoyo y aliento para terminar este trabajo académico.

Resumen

Crecimiento urbano, densidad poblacional, e impermeabilidad del suelo, son factores incidentes en la ocurrencia de inundaciones urbanas. Los fenómenos contemporáneos, cambio climático, deterioro ambiental, aceleran procesos naturales incidiendo en la ocurrencia de precipitaciones pluviales; así se evidencia la reiteración e impacto de las inundaciones urbanas. Ellas ocurren en sectores poblados, con escaso suelo permeable, y con ineficiencia en sistemas de drenaje y evacuación de las escorrentías pluviales.

El caso de estudio analiza las inundaciones urbanas pluviales en Matosinhos, Área Metropolitana de Porto, al norte de Portugal. Se han revisado ocurrencias de inundación urbana a partir de los años ochenta del siglo XX. En la Cámara Municipal se obtuvo un registro oficial con puntos de sucesos de inundación, tanto por lluvia como por mareas. La información proviene del grupo de Protección Civil.

Se elaboraron mapas de densidad de puntos de ocurrencia de inundaciones; de calor temporal; de clusters espaciales y análisis de autocorrelación. Los resultados fueron confrontados con recorridos de campo. La fechación se corroboró con noticias en diarios locales.

El análisis morfológico de las superficies y sus atributos topográficos se trabajaron sobre seis variables: elevación DEM, slope, Land use cover en raster, precipitación, acumulación de flujo y proximidad de arroyos y canales (PAC). El análisis multicriterio permitió identificar áreas con mayor recurrencia de inundaciones urbanas. Se determinaron tres áreas de estudio: Calle Avenida Conde; Rua Elaine Sanceau, prolongación Avenida Xanana Guzman; Calles Alvaro Casteloes y Ló Ferreira. Para los casos de estudio se trabajaron ráster de dirección de flujo, que permite conocer el flujo del agua según la dirección de la pendiente. Se identificó la acumulación de flujo y se marcaron las vías con valores altos de acumulación. Se consideró el planeamiento territorial integral como el factor local de mayor incidencia en el manejo de las escorrentías superficiales de las aguas lluvias.

Palavras-chave: susceptibilidad de inundaciones, zonas, suelo urbano, planeación urbana, escorrentía superficial

Abstract

Urban growth, population density, and impermeability soil are incident factors in the occurrence of urban floods. Contemporary phenomena, climate change, environmental deterioration accelerate natural processes affecting the occurrence of rainfall; thus, the reiteration and impact of urban flooding is evident. They occur in populated sectors, with scarce permeable soil and with inefficiency in drainage systems and evacuation of rainwater runoff.

The case study is the city of Matosinhos, part of the Metropolitan Area of Porto, in the north of Portugal. Urban flooding occurrences from the eighties of the 20th century have been reviewed. In the Municipal Chamber, an official record was obtained with points of flood events due to rain and tides. The information comes from the Civil Protection group (firefighters).

Flood occurrence point density maps were prepared of temporary heat; of spatial clusters and autocorrelation analysis. The results were compared with field trips. The dating was corroborated by news in local newspapers.

The morphological analysis of the surfaces and their topographic attributes were worked on six variables: DEM elevation, slope, Land use cover in raster, precipitation, accumulation of flow and proximity of streams and channels (PAC). The multicriteria analysis made it possible to identify areas with a higher recurrence of urban flooding. Three study areas were determined: Street Avenida Conde, Street Elaine Sanceau, Avenida Xanana Gusmão extension; Alvaro Casteloes and Ló Ferreira streets. For the case studies, flow direction rasters were used, which allow knowing the flow of water according to slope direction. Flow accumulation was identified, and pathways with high accumulation values were marked. Comprehensive territorial planning was considered as the local factor with the highest incidence in the management of surface runoff from rainwater.

Keywords: flood susceptibility, areas prone to pluvial flooding, urban land, urban planning, surface runoff

Tabla de contenido

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 La problemática	1
1.2 Objetivos generales y específicos.....	4
1.3 Pregunta para el desarrollo de la investigación	5
2. ESTADO DEL ARTE.....	7
2.1 Conceptos Y Definiciones	7
2.1.1 Tipos de Inundación	8
2.1.2 Ordenamiento del Territorio y Riesgos Naturales	9
2.1.3 Reserva Ecológica Nacional -REN Reserva Agrícola Nacional- RAN Estructura Ecológica Municipal -EEM	11
2.2 Sobre inundaciones Urbanas Fuera de Portugal.	14
2.3 Sobre inundaciones Urbanas en Portugal.....	16
3. ÁREA DE ESTUDIO.....	23
3.1 Análisis Geográfico, Hidrológico Y Biótico	26
3.1.1 Características de la cuenca hidrográfica del río Leça	26
3.1.2 La Geografía y la Topografía	29
3.1.3 Coberturas y sistemas bióticos	32
3.2 Crecimiento Urbano en Matosinhos	35
3.2.1 Evolución Urbana	35
.....	42
3.2.2 Proceso Urbano de Matosinhos.....	42
3.3 Las inundaciones en Matosinhos y el Ordenamiento del Territorio	47
3.3.1 Cronología de Sucesos de Inundación en Matosinhos.....	48
3.3.2 Inundaciones en Matosinhos y el Ordenamiento del Territorio	49
4. METODOLOGÍA	52
4.1 Análisis de las transformaciones de la ocupación del suelo y su impacto en el proceso de Impermeabilización del Suelo.	54
4.2 Análisis De La Susceptibilidad Las Inundaciones Pluviales Y Su Distribución Espacial En Matosinhos.	57

4.3 Análisis de Mapas.....	62
4.4 Análisis De Estudios De Caso Con Trabajo De Campo.....	63
5. RESULTADOS	67
5.1 Análisis de las transformaciones de la ocupación del suelo y su impacto en el proceso de Impermeabilización del Suelo en Matosinhos (1995 a 2002).....	69
5.2 Análisis de los Patrones Espaciales de Inundaciones Pluviales en Matosinhos (1995-2022) y su Relación con el Incremento de Áreas Impermeabilizadas.....	82
5.3 Susceptibilidad de Inundación	86
5.4 <i>Sucesos de Inundación Pluvial en Matosinhos durante 1995 a 2002 y su relación con el crecimiento de las áreas artificiales</i>	92
5.5 Estudios de caso con trabajo de campo.....	98
6. DISCUSIÓN.....	115
7. CONCLUSIONES.....	119
8. Referencias Bibliográficas	123
Anexo 1 Itinerario de registros de inundación.....	132
Anexo 2 Localización de los puntos de inundación y sumideros em cada area de estudio	138

Índice de Figuras

FIGURA 1 MAPA GEOGRÁFICO DEL ÁREA DE ESTUDIO. FUENTE DE DATOS: CMM 2019	23
FIGURA 2 TEMPERATURA MÁXIMA (LÍNEA ROJA) Y MÍNIMA (LÍNEA AZUL) MEDIAS, CON RANGOS DE 25º A 75º Y DE 10º A 90º PERCENTIL. LAS LÍNEAS FINAS EN PUNTOS SON LAS TEMPERATURAS MEDIAS PERCIBIDAS FUENTE DE DATOS: IMPA 2019	25
FIGURA 3 BASE HIDROGRÁFICA OTOCODIFICADA MULTIESCALAS 2020. FUENTE: GEOPORTAL ENERGIA E GEOLOGIA.	27
FIGURA 4 CARTA GEOLÓGICA DE PORTUGAL. FUENTE DE DATOS: GEOPORTAL ENERGIA E GEOLOGIA 2020	28
FIGURA 5 CUERPOS DE AGUA FUENTE DE DATOS: CMM 2019.....	29
FIGURA 6 REN RESERVA ECOLÓGICA NACIONAL. FUENTE DE DATOS: CMM 2023.....	30
FIGURA 7 RAN RESERVA AGRÍCOLA NACIONAL. FUENTE DE DATOS: CMM 2023.	30
FIGURA 8 ESTRUCTURA ECOLÓGICA MUNICIPAL CON LA ESTRUCTURA ECOLÓGICA FUNDAMENTAL Y LA ESTRUCTURA ECOLÓGICA COMPLEMENTARIA. FUENTE: QUATERNAIRE, PORTUGAL 2019.....	31
FIGURA 9 CARTA DE OCUPACIÓN DEL SUELO COS ACTUALIZADA 2022 HILLSHADE FUENTE DE DATOS: CMM 2019.....	32
FIGURA 10 MAPA DE COBERTURAS VEGETALES EN MATOSINHOS. FUENTE DE DATOS: CMM 2019.....	34
FIGURA 11 PROYECTOS DE CONEXIÓN FERROVIARIA ENTRE OPORTO Y EL PUERTO COMERCIAL DE LEIXÕES FUENTE: ARQUIVO DA ADMINISTRAÇÃO OS PORTOS DO DOURO E LEIXÕES 1907.....	36
FIGURA 12 MATOSINHOS TRAZA. LÍCINIO GUIMARÃES. 1896. FUENTE: ARQUIVO DA ADMINISTRAÇÃO OS PORTOS DO DOURO E LEIXÕES 1907.....	37
FIGURA 13 PROCESO DE REVISIÓN DEL PDM DE CMM 2019 FUENTE DE DATOS: CMM 2019.	38
FIGURA 14 CRECIMIENTO MALLA URBANA FUENTE: L. VALENTE, 2014	39
FIGURA 15 ÁREAS URBANIZADAS DESDE 1995 A 2022 FUENTE DE DATOS: CMM 202	40
FIGURA 16 DENSIDAD POBLACIONAL 1960 -2021. FUENTE DE DATOS: PORDATA 2022	41
FIGURA 17 MAPA DE DENSIDAD POBLACIONAL MATOSINHOS POR UNIONES DE FREGUESIAS. FUENTE DE DATOS: BGRI 2019	42
FIGURA 18 MERCADO DONDE LOS PESCADORES QUE DEJABAN EL PESCADO AL BORDE DEL MAR. FUENTE: ARCHIVO DE MATOSINHOS.....	43
FIGURA 19 PLANO DE ZONIFICACIÓN DEL PLAN REGULADOR DE OPORTO. FUENTE GARRET 1952. FUENTE: DIALNET-FORMACIÓN EVOLUCIÓN E CENTRO OPORTO.	44
FIGURA 20 MAPA CON REGISTROS DE PUNTOS DE INUNDACIÓN. FUENTE DE DATOS: CMM 2022	49
FIGURA 21 DIAGNÓSTICO DE FACTORES QUE CONDICIONAN LA SUSCEPTIBILIDAD AL RIESGO DE INUNDACIONES URBANAS EN EL MUNICIPIO DE MATOSINHOS. A. PEDROSA 2006	50

FIGURA 22 ESQUEMA METODOLÓGICO. FUENTE: ADAPTADO Y MEJORADO A PARTIR DE MARAFUZ 2023.....	52
FIGURA 24 ÁREAS DE ESTUDIO DE CASO DE INUNDACIONES EN MATOSINHOS. FUENTE DE DATOS: GOOGLE EARTH. Y CMM2023	64
FIGURA 25 MAPA DE OCUPACIÓN DEL SUELO EN MATOSINHOS 1995 A 2022. FUENTE DE DATOS: DGT, 2019	71
FIGURA 26 PORCENTAJE DE LA SUPERFICIE OCUPADA VERSUS VARIACIÓN PORCENTUAL POR CATEGORÍAS 1995 A 2022. FUENTE DE DATOS: DGT, 2019	73
FIGURA 27 MAPAS DE TRANSFORMACIONES DE LA OCUPACIÓN DEL SUELO EN MATOSINHOS 1995 A 2022. FUENTE DE DATOS : DGT, 2019	77
FIGURA 28 MAPA CON COEFICIENTES DE IMPERMEABILIDAD EN ÁREAS AGRÍCOLAS, FORESTALES, SEMINATURALES A ÁREAS ARTIFICIALES 1995 A 2022. FUENTE DE DATOS: COS 2021	81
FIGURA 29 NUMERO DE SUCESOS DE INUNDACIÓN PLUVIAL VERSUS VARIACIÓN PRECIPITACIÓN TOTAL 1995 A 2022. FUENTE: IMPA 2022.....	83
FIGURA 30 ÍNDICE DE MORAN DE LOS SUCESOS DE INUNDACIÓN PLUVIAL EN MATOSINHOS 1995 A 2022. FUENTE DE DATOS: ARCGIS, CMM 2023	85
FIGURA 35 FACTORES DE SUSCEPTIBILIDAD UTILIZADOS EN ESTE ESTUDIO: A DEM, B PENDIENTE, C DISTANCIA A LA RED DE DRENAJE, D ACUMULACIÓN DE CAUDAL, Y USO Y COBERTURA DEL SUELO, F. PRECIPITACIÓN MENSUAL. FUENTE DE DATOS: CMM 2019	88
FIGURA 36 PRECIPITACIÓN MENSUAL EN MATOSINHOS. FUENTE: IPMA 2019	90
FIGURA 37 SUSCEPTIBILIDAD A INUNDACIONES PARA MATOSINHOS. FUENTE DATOS: CMM 2022	91
FIGURA 31 ÁREAS ARTIFICIALES, CONSTRUCCIONES Y SUCESOS DE INUNDACIÓN PLUVIAL EN MATOSINHOS ENTRE 1995 A 2022. FUENTE DE DATOS: OPEN STREET, CMM 2023	93
FIGURA 32 SUCESOS DE INUNDACIÓN PLUVIAL EN MATOSINHOS VERSUS CRECIMIENTO DE ÁREAS ARTIFICIALES. FUENTE DE DATOS: CMM, 2019	95
FIGURA 33 NUMERO DE SUCESOS DE INUNDACIÓN PLUVIAL VERSUS CRECIMIENTO DE ÁREAS ARTIFICIALES 1995 A 2022. FUENTE: IPAM 2022	96
FIGURA 34 ANÁLISIS DE LOS SUCESOS DE INUNDACIÓN PLUVIAL EN MATOSINHOS POR PERIODOS VERSUS DENSIDAD DE CONSTRUCCIONES. FUENTE DE DATOS: CMM 2019	97
FIGURA 35 ANÁLISIS MORFOLÓGICO FUNCIONAL AVENIDA CONDE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON IMÁGENES GOOGLE EARTH Y CCM. 2023	99
FIGURA 36 ANÁLISIS MORFOLÓGICO FUNCIONAL R ELAINE SANCEAU. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON IMÁGENES GOOGLE EARTH Y CCM. 2023	100

FIGURA 37 ANÁLISIS MORFOLÓGICO FUNCIONAL R ALVARO CASTELOES Y LÓ FERREIRA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON IMÁGENES GOOGLE EARTH Y CCM. 2023	101
FIGURA 38 SENTIDOS DE FLUJOS DE AGUA AFLUENTES Y EFLUENTES Y LUGARES DE CONVERGENCIA DE DICHOS FLUJOS. LOCALIZACIÓN DE PUNTOS DE INUNDACIÓN Y SUMIDeros EN LA AVENIDA CONDE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE GOOGLE EARTH Y DATOS DE INUNDACIÓN, 2023	104
FIGURA 39 SENTIDOS DE FLUJOS DE AGUA AFLUENTES Y EFLUENTES Y LUGARES DE CONVERGENCIA DE DICHOS FLUJOS. LOCALIZACIÓN DE PUNTOS DE INUNDACIÓN Y SUMIDeros EN LA RUA ELAINE SANCEAU. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE GOOGLE EARTH Y DATOS DE INUNDACIÓN, 2023	106
FIGURA 40 SENTIDOS DE FLUJOS DE AGUA AFLUENTES Y EFLUENTES Y LUGARES DE CONVERGENCIA DE DICHOS FLUJOS. LOCALIZACIÓN DE PUNTOS DE INUNDACIÓN Y SUMIDeros EN LAS RUAS ÁLVARO CASTELOES Y LÓ FERREIRA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE GOOGLE EARTH Y DATOS DE INUNDACIÓN, 2023	108
FIGURA 41 ÁREAS PERMEABLES IMPERMEABLES EN ÁREA DE ESTUDIO AVENIDA CONDE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE GOOGLE EARTH 2023	111
FIGURA 42 ÁREAS PERMEABLES - IMPERMEABLES EN ÁREA DE ESTUDIO R. ELAINE SANCEAU. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE GOOGLE EARTH 2023.....	112
FIGURA 43 ÁREAS PERMEABLES - IMPERMEABLES EN ÁREA DE ESTUDIO R. A. CASTELOES - LÓ FERREIRA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE GOOGLE EARTH 2023	113

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 INSTRUMENTOS DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL. FUENTE: DIRECCIÓN GENERAL DE TERRITORIO 2023.....	10
TABLA 2 COEFICIENTES DE IMPERMEABILIDAD POR CATEGORÍAS DE OCUPACIÓN DEL SUELO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA 2023.....	57
TABLA 3 OCUPACIÓN DEL SUELO DE MATOSINHOS 1995 A 2022. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	69
TABLA 4 PORCENTAJE DE SUPERFICIE TOTAL EN MATOSINHOS VERSUS VARIACIÓN PORCENTUAL POR CATEGORÍAS 1995 A 2022. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	72
TABLA 5 NÚMERO DE HECTÁREAS DE ÁREAS AGRÍCOLAS, FORESTALES, SEMINATURALES TRANSFORMADAS EN ÁREAS ARTIFICIALES 1995 A 2022. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	78
TABLA 6 COEFICIENTES DE IMPERMEABILIDAD POR CATEGORÍAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	79
TABLA 7 ÍNDICE DE IMPERMEABILIDAD DEL SUELO - LIMP EN ÁREAS AGRÍCOLAS, FORESTALES, SEMINATURALES A ÁREAS ARTIFICIALES 1995 A 2022. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DEL CÁLCULO DE ÍNDICE DE IMPERMEABILIDAD 1995, 2007, 2018 Y 2022.....	82
TABLA 8 NÚMERO DE INUNDACIONES POR FREGUESÍA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA 2023	92
TABLA 9 PORCENTAJES DE ÁREA PERMEABLE – IMPERMEABLES EN AVENIDA CONDE	112
TABLA 10 ÁREAS PERMEABLES - IMPERMEABLES EN ÁREA DE ESTUDIO R. ELAINE SANCEAU. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE GOOGLE EARTHE 2023	113
TABLA 11 ÁREAS PERMEABLES - IMPERMEABLES EN ÁREA DE ESTUDIO R. A. CASTELOES- LÓ FERREIRA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE IMAGEN GOOGLE EARTH 2023....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
TABLA 12 ÁREAS PERMEABLES - IMPERMEABLES EN ÁREA DE ESTUDIO R. ÁLVARO CASTELOES -LÓ FERREIRA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE GOOGLE EARTH 2023	114

Lista de abreviaturas e siglas

Aimp	Área de impermeabilidad
APA	Agencia Portuguesa de Ambiente
AMP	Área Metropolitana de Porto
CMM	Camara Municipal de Matosinhos
DGT	Direção-Geral do Território
DGOTDU	Dirección General de Ordenación de Territorio y Desarrollo Urbano
EEM	Estructura Ecológica Municipal
FMSAU	Fondo Municipal de Sustentabilidad Ambiental y Urbanística
INE	Instituto Nacional de Estadística
OT	Ordenamiento Territorial
PDMM	Plan Director Municipal de Matosinhos
PUMS	Plano de Urbanización de Matosinhos Sul
REN	Reserva Ecológica Nacional
RAN	Reserva Agrícola Nacional
Cimp	Coeficiente de impermeabilidad
Iimp	Índice de Impermeabilidad
SIG	Sistema de Información Geográfica

1. INTRODUCCIÓN

1.1 La problemática

El crecimiento y consolidación urbana durante la segunda mitad del siglo XX, y, los cambios climáticos globales evidenciados en las dos décadas transcurridas del siglo XXI, han acelerado procesos antrópicos y naturales. El aumento de construcción urbana altera el régimen de caudales de los ríos y la dirección de la escorrentía (Marafuz & Gomes, 2013, 481). Los cambios climáticos globales han acelerado procesos naturales, degradando sistemas terrestres y generado la ocurrencia e intensificación de precipitaciones (Liendro Moncada & Ojeda, 2018, 120). El incremento de las poblaciones, los cambios de usos, la actualización o construcción de infraestructuras, la edificación de todo tipo de edificaciones, impacta la condición urbana. En términos de la naturaleza, en vínculo indisoluble con lo ambiental, se evidencia la degradación de sistemas terrestres y ha generado, para las épocas donde impacta el incremento de las lluvias, la ocurrencia e intensificación de las precipitaciones (Liendro Moncada & Ojeda, 2018, 121). Por estas razones, se puede pronosticar el aumento de inundaciones en las áreas urbanas (Zhou, 2018, 314). Las inundaciones, como desastre hidrológico en el territorio habitado, provocan un cambio poderoso y, a menudo, repentino en la distribución superficial del agua modificando las prácticas urbanas.

El fenómeno de las inundaciones urbanas, a diferencia del fenómeno del crecimiento del nivel de los ríos y quebradas sobre sus bordes, se caracterizan por la ocupación de agua en zonas que en circunstancias normales permanecen secas (Liendro Moncada & Ojeda, 2018, 122). Las inundaciones, como fenómenos hidrológicos en el territorio urbanizado, provocan un cambio repentino en la condición de uso de las superficies; la acumulación temporal y el tiempo de duración del drenaje de agua, afectan las actividades y las prácticas urbanas cotidianas. Las inundaciones son eventos "naturales" en muchos casos exacerbados por el hombre, debido a su efecto sobre el territorio. Es decir, el inadecuado urbanismo, tanto pasado como presente, sumado al explosivo crecimiento poblacional han expandido las ciudades de lugares "más o menos" seguros

a lugares "definitivamente" inseguros, generando con todo ello graves problemas ambientales en el conjunto natural y social. Es necesario considerar que muchos de los fenómenos naturales amenazantes se desencadenan más que por el agua, por el mal manejo que le damos a ella y al territorio (Leonardo, 2010, 147).

Las inundaciones urbanas ocurren tanto en zonas con superficies abiertas, como la red de calles, andenes, jardines, zonas verdes, como en zonas cerradas, lugares construidos de parqueo de vehículos y bodegajes subterráneos, localizados en niveles inferiores a las rasantes de las calles contiguas y adyacentes, ocupando superficies deprimidas (O'Connor & Costa, 2003, 9). El volumen de los caudales es un factor determinante. Las inundaciones en cuencas hidrográficas pequeñas no conllevan consecuencias graves, con diferencia a las que suceden en las grandes cuencas donde los caudales involucrados son sustancialmente mayores. No obstante, esa consideración general sobre las cuencas hidrográficas pequeñas, no es razón para dejar de adelantar estudios en cuencas pequeñas (Velhas, 1991, 140). El nivel de impacto de las inundaciones urbanas afecta la movilidad, la seguridad y la integridad física de los ciudadanos y afecta, en diferentes términos, la estabilidad y funcionalidad de las edificaciones.

En las ciudades las afectaciones debido a inundaciones por precipitaciones pluviales son relativas a las cualidades de permeabilidad de las zonas donde ocurren, la intensidad de las precipitaciones y la dimensión de las superficies directamente afectadas (Canon-Barriga, 2022, 4). El incremento de los sucesos de inundaciones ocurre en relación directa al crecimiento de las áreas urbanas. La construcción de nuevos sectores urbanos modifica características físicas y morfológicas del terreno que las soporta; la aplicación superficial de sustancias elementos y materiales impermeables disminuye la capacidad de absorción natural de líquidos del suelo. Las construcciones urbanas densas incrementan la impermeabilidad en grandes superficies.

El incremento de áreas impermeables aumenta la acumulación de agua lluvia y aumento en el tiempo de permanencia del líquido estancado sobre las superficies, particularmente en aquellas con deficiencias en drenajes, particularmente en superficies impermeables que presentan algún grado de plegamiento o concavidad. La

dimensión y duración del evento pluvial; la velocidad de drenaje del agua hacia las cuencas; la dimensión y profundidad de la concavidad de las superficies; el grado de impermeabilidad de los materiales del suelo; son factores determinantes para una inundación urbana (Zhang, 2018, 386).

Hay factores climáticos que inducen fenómenos ambientales. La información climatológica, datos, gráficas e informes, son fuentes valiosas, material documental con noticias importantes para el desarrollo de este trabajo. Hay también factores determinados por la planeación del territorio, por la definición de usos del suelo, por las propuestas de intervención física y ambiental que implica la planificación urbana en sus diversas fases y escalas; al análisis de estos factores nos dedicaremos, con el método descrito, en esta investigación.

La planificación urbana implica la propuesta de sistemas eficientes para el modelado de superficies topográficas y el encauzamiento de las aguas lluvias. La falta de atención al sistema de evacuación, o el manejo y mantenimiento inadecuado de la conducción de aguas lluvias, genera el incremento de los problemas causados por las inundaciones urbanas.

Según documentos de la *Câmara de Matosinhos* este *Concelho* fue creciendo, en términos de construcción física, con rapidez a mediados del siglo XX (Berrance, 2019, 12). El aumento de asentamientos a la orilla del río y del borde marítimo generó un riesgo de inundación urbana en este sector, principalmente desde 1980; época en donde se observó un mayor crecimiento del tejido urbano (Pedrosa de Sousa & Pereira, 2006, 37). Sin embargo, sólo a mediados de los años 80 se incrementó el crecimiento de las áreas urbanas en las freguesias de Senhora da Hora y São Mamede de Infesta. Para los años 90 se observó un estancamiento en el crecimiento urbano, aunque las construcciones ya habían dejado pocas áreas verdes dentro de la ciudad (Berrance, 2020, 23). Las inundaciones por lluvias son producto de un crecimiento urbano, que no dejó suficientes áreas permeables, lo que conlleva a un aumento de volumen de agua en la superficie.

Al inicio del siglo XXI, según el censo del 2011, Matosinhos tenía una densidad poblacional de 2,681 hab/km² (Berrance, 2020, 19). Al final de la segunda década el Concelho ocupa la posición octava en la lista de los municipios más habitado en el país y ocupaba el tercer lugar en la zona norte (Berrance, 2020, 21)

1.2 Objetivos generales y específicos

Al planificar el ordenamiento de una ciudad es importante tener en cuenta las calidades y las cualidades geológicas de los suelos, los tipos y conjuntos de construcción propuestos, las redes de vías, calles, senderos, las zonas verdes, plazas y jardines, las infraestructuras de servicios y sus condiciones de funcionamiento. Sin embargo, es poco frecuente que en el planeamiento territorial se de mayor importancia a las particulares topográficas y morfológicas de las áreas a desarrollar. Es fundamental conocer detalles de la topografía y reconocer la morfología del suelo para entender la correcta implantación de las construcciones y minimizar los riesgos causados por eventos de inundaciones urbanas (Ouma & Tateishi, 2014, 1524). Las plegaduras, ondulaciones, hundimientos, convexidades y concavidades de la superficie del suelo son factores determinantes en la continuidad del flujo o el empozamiento de las aguas lluvias.

OBJETIVO GENERAL

Identificar a través de diferentes métodos geográficos de análisis, algunas de las condiciones evidentes por las cuales se generan las inundaciones pluviales en Matosinhos.

OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- Realizar un análisis temporal que emplee cartas del suelo y ortofotos con el propósito de estudiar la transformación secuencial de la ocupación del terreno y el avance urbano durante el lapso de tiempo comprendido entre 1995 y 2023.

- Generar mapas de impermeabilización del suelo en una escala general a partir del análisis temporal de ocupación del suelo con el fin de visualizar patrones y áreas de alta impermeabilidad.
- Identificar y delinear las zonas con ocurrencias de inundaciones pluviales, así como analizar y comprender la distribución espacial de estas incidencias.
- Ejemplificar a través de un caso específico las ocurrencias de inundaciones pluviales en Matosinhos.

1.3 Pregunta para el desarrollo de la investigación

El crecimiento urbano, con el consecuente incremento de superficies construidas sobre áreas acondicionadas, en terrenos antes no ocupados por actividades urbanas, causa la impermeabilidad del suelo e incrementa los sucesos de inundaciones urbanas. En consideración a la importancia que deben tener los argumentos ambientales en la planeación territorial y enfocando el caso de estudio a inundaciones urbanas en Matosinhos, se plantean inicialmente las siguientes preguntas:

1. *¿La relación entre el crecimiento urbano, la impermeabilidad del suelo y la densificación urbana son factores determinantes en los sucesos de inundación urbana?*
2. *¿Es posible hacer una comparación por superposición de imágenes donde se determine el incremento de ocupación del suelo y, a partir de esa comparación, establecer la relación con el incremento o descenso de los sucesos de inundación urbana?*
3. *¿Es posible localizar los puntos de inundación recurrente, sobreponerlo a la trama de vías en imágenes de sectores urbanos y, a partir de su entrecruzamiento, analizar las particularidades de los vectores de inclinación de las vías, los sistemas de drenaje superficial en áreas urbanas, la confluencia de corrientes en que los diversos niveles de pendiente se producen apozamiento, modificación de velocidad de desplazamiento del*

flujo de aguas, permanencia prolongada de humedad acumulada más allá de la duración del suceso pluvial?

Del análisis del conjunto de preguntas formuladas se deriva una hipótesis que guía el desarrollo de la presente tesis. La hipótesis que se plantea, dice:

El crecimiento urbano, la densidad poblacional, la impermeabilidad creciente del suelo, son factores que inciden directamente en la ocurrencia de inundaciones urbanas. No obstante, no son los únicos. Un factor determinante, fundamental, principal, es el planeamiento territorial integral y el desarrollo de proyectos de intervención consecuentes con el correcto manejo y encauzamiento de las escorrentías superficiales de las aguas lluvias.

2. ESTADO DEL ARTE

2.1 Conceptos Y Definiciones

Como ya se ha afirmado antes, las inundaciones son eventos en los que áreas terrestres que normalmente están secas se ven cubiertas por un exceso de agua. Esto puede ocurrir debido a una variedad de factores, como lluvias intensas, deshielo de nieve, crecidas de ríos, marejadas ciclónicas, rupturas de diques o represas, y otros eventos que causan un aumento en el nivel del agua en una región específica.

La magnitud de la precipitación es uno de los principales factores desencadenantes de las inundaciones urbanas (Zhou, 2018, 306)¹. La relación entre intensidad de la precipitación y los fenómenos de inundación son considerados de manera integral y forman parte de un conjunto de factores que se relacionan con las condiciones de pluviosidad (ambiente - cambio climático), y, el planeamiento urbano en sus condiciones de: forma, ocupación y distribución de las construcciones, el espacio abierto, (áreas permeables e impermeables) y el diseño, estado y mantenimiento de la red de drenajes, tanto pluviales como de alcantarillados y de los drenajes mixtos (Talukdar, 2020, 2280).

Los niveles de agua de inundación pueden ir desde pequeñas acumulaciones de líquido en carreteras y calles hasta sucesos más graves que afectan a comunidades enteras, causando daños a la propiedad, interrupción de servicios públicos, desplazamiento de personas y, en casos extremos, pérdida de vidas humanas. Son los fenómenos naturales más frecuentes y uno de los que tiene más mortalidad, contribuyendo al aumento del interés en el estudio de su proceso de desencadenar (CEPAL & Naciones Unidas, 2014, 173).

¹ Para este estudio no fue posible obtener datos suficientes de intensidad de precipitación para considerar esta variable como una de las principales.

2.1.1 Tipos de Inundación

Al investigar sobre la vulnerabilidad y el riesgo de inundaciones se identifica que no solo se encuentra un solo un tipo de inundación o un factor inductor de inundaciones, como inundaciones pluviales, inundaciones fluviales e inundaciones tormentosas (Yang et al., 2020, 2) A pesar de esto, las complicadas condiciones hidrometeorológicas y su entorno físico, hacen que las ciudades a menudo enfrenten diversas circunstancias que provocan inundaciones, como precipitaciones excesivas, desbordamiento de diques de ríos, marejadas ciclónicas, mal diseño de acueductos etc. Por lo tanto, un solo tipo de inundación no puede reflejar el riesgo real de inundación en un área (Merz & Blöschl, 2003) (Vergara Tenorio, 2011) (Institut de prévention des sinistres catastrophiques, 2021) (Yang, 2020). De tal manera, a continuación, se encuentran los tipos de inundación que se han visto referidos, con mayor reiteración, en diversos estudios, artículos y tesis como (Cruz, 2017) (Kamruzzaman & Chowdhury, 2023) (Son, 2023) (Ferrari, 2023) :

Inundaciones fluviales: Estas ocurren cuando los ríos, arroyos o afluentes se desbordan debido a lluvias intensas, deshielo rápido de nieve o liberación de represas. Las inundaciones fluviales son comunes en áreas cercanas a cuerpos de agua.

Inundaciones repentinas (flash floods): Son inundaciones rápidas y extremadamente intensas que pueden ocurrir en cuestión de minutos u horas. Por lo general, son causadas por lluvias torrenciales en áreas con poco drenaje o en terrenos inclinados.

Inundaciones costeras: Estas se producen cuando el nivel del mar aumenta debido a tormentas severas, mareas altas o tsunamis. Las áreas costeras bajas y las islas son particularmente susceptibles a este tipo de inundaciones.

Inundaciones por desbordamiento de embalses y represas: Se producen cuando la capacidad de embalses o represas se excede debido a lluvias intensas, fusión rápida de nieve o un aumento repentino en el flujo de agua, lo que puede llevar al desbordamiento y a la inundación aguas abajo (Zezere, 2007, 537).

Inundaciones de lodo (mudflows): Estas ocurren en áreas montañosas o colinas empinadas donde la vegetación ha sido eliminada, como después de incendios forestales, y la lluvia intensa arrastra el suelo y el lodo hacia áreas bajas.

Inundaciones por tormentas costeras: Son causadas por tormentas severas en áreas costeras, que generan vientos fuertes y oleaje alto, lo que lleva al aumento del nivel del mar y a la inundación de áreas costeras bajas.

Inundaciones de llanuras de inundación: Estas inundaciones ocurren en áreas planas o llanuras de inundación que están destinadas naturalmente a retener el exceso de agua de ríos y arroyos. Pueden ocurrir debido a un aumento en el flujo de agua o al desbordamiento de ríos cercanos.

Inundaciones artificiales: Pueden ser causadas por fallas en infraestructuras humanas, como rotura de tuberías de agua o alcantarillado, rotura de represas o diques, y otros problemas relacionados con la construcción.

En esta tesis, la definición fundamental es la de **inundaciones urbanas**, las que ocurren en áreas urbanas densamente pobladas debido a la falta de drenaje adecuado y al pavimento impermeable, que dificultan la absorción del agua. Las intensas lluvias pueden llevar a inundaciones en calles y sectores urbanos. Este tipo de inundación lo hemos descrito a lo largo del presente documento.

2.1.2 Ordenamiento del Territorio y Riesgos Naturales

El Ordenamiento Territorial es el proceso y estudios de organización del espacio biofísico, con el objetivo de utilizar y transformar el territorio, de acuerdo con sus capacidades y vocaciones y la permanencia de los valores del equilibrio biológico y la estabilidad ecológica, con miras a incrementar su capacidad de vida y potencializar la explotación, maximizando la producción y protegiendo el medio ambiente, con miras al desarrollo socioeconómico (Choay, 2023, 265).

Se observa que, a nivel nacional portugués, el Programa Nacional de Política de Ordenamiento Territorial (PNPOT), determina el marco estratégico para el orden del territorio nacional y establece lineamientos y directrices para la ordenación del territorio municipal.

Los instrumentos del ordenamiento del territorio localizados en la Tabla 1 se consideran jerárquicos, aunque, se busca la articulación entre los diferentes instrumentos, ya que cada plan opera en un nivel específico de problemas y escalas (Direção-Geral do Território, 2023).

Tabla 1 instrumentos de Ordenamiento Territorial. Fuente: Dirección General de Territorio 2023

ALCANCE	INSTRUMENTOS DEL ORDENAMIENTO DEL TERRITORIO
Nacional	-Programa Nacional de Política de Ordenamiento Territorial - PNPO -Planes Sectoriales OT - PSec -Planes Especiales OT - PEOT
Regional	-Planes Regionales OT - PROT -Planes Intermunicipales OT (planes preparatorios municipales regionales)
Municipal	-Planes Municipales OT - PMOT -Plan Maestro Municipal - PDM -Planes de Urbanización - PU -Planos Pormenor – PP

Los instrumentos de gestión territorial en Portugal son contemplados en el Decreto-Ley n.80/2015 (Régimen Jurídico de los Instrumentos de Gestión Territorial - RJIGT) (Decreto-Lei n.º 80/2015, 2015) que reglamentó en gran parte la Ley Básica de Política Territorial y Urbanística – LBOTU Lei n.º 31/2014(Lei n.º 31/2014, 2014).

Hay dos leyes importantes cuando se trabaja con catástrofes: La Ley N° 48/98, establece que la prevención de los efectos resultantes de las catástrofes naturales constituye un fin de la política del OT, y, la ley 27/2006, que establece las Bases de la protección Civil e incluye entre sus objetivos la prevención y mitigación de riesgos colectivos (Zêzere, 2007, 530).

Muchos factores son determinantes para un buen manejo de control contra las inundaciones. Sin embargo, entre los múltiples artículos que existen sobre este fenómeno, se habla poco o casi nada sobre el factor del OT.

2.1.3 Reserva Ecológica Nacional -REN Reserva Agrícola Nacional- RAN Estructura Ecológica Municipal -EEM

La Reserva Ecológica Nacional (REN) es una restricción de utilidad pública de alcance nacional, inscrita en los instrumentos de ordenación territorial, sujeta a un régimen territorial especial establecido por el Decreto-Ley n.º 321/83, de 5 de julio, cuyo régimen fue profundizado por el Decreto-Ley n.º 93/90, de 19 de marzo, y posteriormente revisado por el Decreto-Ley n.º 166 /2008, de 22 de agosto, desde una perspectiva preventiva, pasó a considerar las áreas amenazadas por inundaciones como áreas de riesgo, integrando las áreas aún libres de ocupación, que se convertían así en una restricción de utilidad pública.(Igamaot- REN, 2023). Es una estructura biofísica que integra el conjunto de tipologías que, por su valor ecológico y sensibilidad o por su exposición y susceptibilidad a los riesgos naturales, están sujetas a un régimen especial de protección (comissão de coordenação e desenvolvimento regional do norte, 2023).

La Reserva Agrícola Nacional (RAN) es una restricción de utilidad pública de ámbito nacional, inscrita en los instrumentos de ordenación territorial, sujeta a un régimen territorial especial, que condiciona el uso no agropecuario del suelo, identificando los usos permitidos teniendo en cuenta las disposiciones consagradas. objetivos en el Decreto-Ley n.º 73/2009, en la redacción dada por el Decreto-Ley n.º 199/2015, de 16 de septiembre, que procedió a su republicación (Dirección regional de agricultura y pesca del Norte, 2022).

La RAN está constituida por el conjunto de áreas que, por las características de su territorio, en términos agro climáticos, geomorfológicos y edafológicos, son más aptas para la actividad agrícola (Igamaot, 2022).

Estructura Ecológica Municipal (EEM) La Estructura Ecológica Municipal en Matosinhos, según el PDM, está integrada por un conjunto de áreas características como son la condición biofísica, cultural, o paisajística, o por su condición de continuidad ecológica y su organización y cuya función principal es contribuir al equilibrio ecológico y a la protección, conservación y puesta en valor de los espacios ambientales y paisajísticos rurales y urbanos (Berrance, 2019, 24).

La estructura Ecológica Fundamental (EEF) representa el suelo cuya conservación es esencial para la preservación de las condiciones ambientales; se compone de áreas incluida en la Reserva Ecológica Nacional (REN), en ella se considerada fundamental salud mental para la conservación de la naturaleza y la protección de la biodiversidad, incluyendo áreas de protección costera, áreas relevantes para el ciclo hidrológico terrestre y las áreas de vertientes. Estas áreas se sitúan normalmente a la vera del río Leça (CMM, 2019).

Por otro lado, el Marco Ecológico Complementario (EEC) representa el conjunto de suelos que permitirán la conectividad entre las áreas pertenecientes a la estructura fundamental y que funcionarán como corredores ecológicos. Estas áreas están representadas fundamentalmente por los suelos destinados a las otras tipologías de REN, a saber, áreas estratégicas de protección y recarga de acuíferos y zonas de alto riesgo de erosión hídrica del suelo y también por suelos integrado a la Reserva Nacional Agropecuaria (RAN) (CMM, 2019). Factores desencadenantes para las inundaciones

Los factores desencadenantes para las inundaciones pluviales pueden variar según la geografía, la infraestructura local y las condiciones climáticas. Algunos de los factores desencadenantes más comunes según (Liao, 2023) (Faccini, 2018) (Paliaga, 2020) (Zhang, 2022) incluyen:

Intensidad y duración de la lluvia: Si la lluvia cae de manera intensa y sostenida durante un período prolongado de tiempo, puede superar la capacidad de absorción del suelo y el sistema de drenaje, lo que lleva a la acumulación de agua.

Tipo de suelo: Suelos con baja capacidad de absorción, como arcillas compactas o suelos impermeables, no pueden retener tanta agua, lo que aumenta el riesgo de inundaciones.

Urbanización y pavimentación: Las áreas urbanizadas con pavimentos impermeables (calles, estacionamientos, edificios) limitan la capacidad de absorción natural del suelo, lo que conduce a una escorrentía superficial más rápida hacia los sistemas de drenaje.

Topografía: Áreas con topografía plana o con poca pendiente tienen menos capacidad para drenar el agua de manera eficiente, lo que aumenta el riesgo de inundaciones.

Sistemas de Drenaje: Sistemas de drenaje obsoletos, bloqueados o mal mantenidos no pueden transportar el agua de manera adecuada, lo que resulta en acumulaciones de agua en áreas bajas.

Cambios en el uso del suelo: La deforestación, la urbanización y otros cambios en el uso del suelo pueden alterar los patrones naturales de drenaje y aumentar la escorrentía superficial.

Efectos de las tormentas: Los eventos climáticos extremos, como tormentas tropicales o huracanes, pueden generar enormes cantidades de lluvia en un corto período, superando rápidamente la capacidad de drenaje local.

Desbordamiento de cuerpos de agua: Los ríos, arroyos y lagos pueden desbordarse cuando reciben una gran cantidad de agua de lluvia en un período corto.

Cambio climático: Los patrones climáticos cambiantes pueden aumentar la intensidad y frecuencia de las lluvias intensas, lo que a su vez aumenta las incertidumbres y el riesgo de inundaciones.

Ordenamiento del Territorio: El OT posee instrumentos que pueden ser aplicados al control de las aguas inundables. Cuando no hay soluciones integrales en el empleo de instrumentos de control y mitigación se pueden generar inconvenientes en el planeamiento urbano.

Es importante tener en cuenta que estos factores pueden interactuar de diversas formas y que la prevención y mitigación de las inundaciones pluviales a menudo involucran soluciones de planificación urbana, diseño de sistemas de drenaje adecuados y medidas de conservación del suelo. Frente a la cantidad de factores desencadenantes, la mayor dificultad es la poca información que se encuentra sobre los elementos en cuestión.

En la mayoría de ciudades, en los diferentes continentes, ha habido recientemente interés por analizar el tema de las inundaciones urbanas pluviales. En contextos donde se analiza el crecimiento y la planificación de las ciudades hay coincidencia en la interrogación reiterada por las inundaciones urbanas (Zhang, 2022, 45).

Para el estado del arte del tema de esta disertación se seleccionaron algunos artículos científicos, libros y tesis académicas que abordan, precisamente, diferentes temas relacionados con las inundaciones urbanas en diferentes países en especial en Portugal.

2.2 Sobre inundaciones Urbanas Fuera de Portugal.

En la mayoría de ciudades del contexto occidental ha habido recientemente interés por analizar el tema de las inundaciones urbanas. En los contextos de ciudades en crecimiento la interrogación por las inundaciones urbanas es frecuente.

En el caso brasileño, en el Boletín de la OMM, el profesor Carlos E. M. TUCCI, del Instituto de Investigación Hidráulica, Universidad Federal de Rio Grande do Sul, se lee: Las inundaciones se ven acentuadas por la urbanización debido al mayor número de zonas impermeables, a las obstrucciones al flujo, tales como puentes y vertederos de basura, y a las obras de drenaje hechas por el hombre, como conductos y zanjas (Tucci, 2004, 26). Para el profesor Tucci, estos no son obstáculos naturales sino creados para acomodar el crecimiento de población y los imperativos de urbanización relacionados. Las inundaciones urbanas constituyen una de las principales amenazas para las

ciudades. La mayor parte de las políticas públicas existentes en los países en vías de desarrollo no son adecuadas ni técnica, ni social ni económicamente. Los planes maestros de drenaje urbano integrado y de planicies de inundación son los instrumentos principales para desarrollar una política sostenible para la gestión de los efectos de las inundaciones en las zonas urbanas. La gestión de las inundaciones urbanas en los países en vías de desarrollo requiere también de la evaluación de los problemas socioeconómicos relacionados con el uso del suelo y el desarrollo urbano. La mayor parte del control se puede lograr a través de legislación y su aplicación, la participación pública y la creación de capacidades (Tucci, 2004, 43).

En México se han desarrollado propuestas metodológicas para la elaboración de mapas de riesgo de las inundaciones urbanas. El artículo *Methodology for Generating Flood Maps in Urban Areas*, resultado de un trabajo conjunto entre la Comisión Nacional del Agua y el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, adelantado en 2015. El estudio tiene como finalidad producir mapas de riesgo apoyado en los mapas de peligro y vulnerabilidad por inundaciones urbanas. Los mapas de riesgo son herramientas aplicables a casos de cálculo de retorno, en diferentes periodos, en zonas urbanas con alto potencial de inundación; áreas vulnerables debido al tipo de construcción de las viviendas, sectores con viviendas para ancianos. Con cartografía de riesgo es posible determinar los mapas de vulnerabilidad en zonas urbanas. Los criterios propuestos se relacionan con la corriente, la velocidad del agua en calles, arroyos y ríos (Alcocer-Yamanaka, 2016, 43). El caso de estudio, para este artículo, fue la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.

En Colombia han sido adelantados estudios sobre el riesgo de inundaciones urbanas. En el artículo “Respuestas y propuestas ante el riesgo de inundación de las ciudades colombianas” Según el ingeniero Freddy Leonardo Franco Idarraga, los eventos naturales son exacerbados antrópicamente, produciendo efectos negativos, problemas ambientales, sobre el territorio, debido al urbanismo inadecuado, al crecimiento

poblacional y a la construcción urbana en lugares inapropiados (Franco, 2010, 145). En el Cono Sur, hay estudios aplicados a diversas ciudades en Argentina y Uruguay.

La revisión del estado del arte ha mostrado un panorama amplio, con casos de estudio en los diversos países y continentes. En el contexto europeo los estudios e indagaciones sobre el fenómeno de las inundaciones urbanas han desarrollado estudios en ciudades alemanas, como Hamburgo y Berlín, en ciudades húngaras y en la Federación Rusa. En el contexto africano el tema de Urban Flooding se refiere a experiencias analizadas en diversas ciudades, como es el caso de Acra, en Ghana. Es un panorama de investigaciones sobre el tema amplio y diverso. Con confluencias reconocibles y con particularidades que sobrepasan los intereses de esta investigación. Para esta tesis hemos dado especial relevancia a las investigaciones referidas al ámbito del territorio urbano portugués.

En términos del Estado del Arte se puede afirmar que es un tema contemporáneo, que con la incidencia del cambio climático y los fenómenos ambientales han generado interés por buscar alternativas que mejoren la calidad y seguridad en los ámbitos urbanos. La mirada específica al caso de Matosinhos, desarrollado en esta tesis, es una aproximación de escala cercana a un problema de carácter global. La disciplina del planeamiento debe considerar la importancia de lo ambiental como factor determinante en el desarrollo urbano y territorial.

2.3 Sobre inundaciones Urbanas en Portugal

En el ámbito portugués hay aproximaciones a diferentes clases de inundación. En ciudades atravesadas por ríos con caudal importante, la mayoría de las investigaciones se centran en los sucesos de desbordamiento y anegación de sectores próximos al cauce. Es el caso del trabajo como el de Isabel Paiva (2019), Riscos de inundaçã em Coimbra, donde para el periodo comprendido entre 1950 – 2003, se analiza en la historia los desbordamientos del río Mondego y sus efectos sobre la franja urbana próxima al

cauce del río. La autora compara la distribución espacial y las causas de las inundaciones antes y después de la puesta en funcionamiento del sistema Raiva- Aguieira en el río Mondego y al embalse das Fronhas en el río Alva que permitió el control de los afluentes en Coimbra. La autora se aproxima a la determinación de factores naturales y antrópicos en la conformación espacial. En la disertación de Paiva se destaca el tema contextual de la educación ambiental de la maestría que cursó. Hay énfasis en la educación de gentes y autoridades para enfrentar los riesgos causados por las inundaciones. En esta disertación el tema central son las inundaciones urbanas, por eso analizaremos investigaciones relacionadas directamente con casos específicos de inundación urbana.

En el artículo “Identificação de locais críticos no escoamento superficial das áreas urbanas de Arouca e São João da Madeira: metodologia e casos de estudo” de Inês Marafuz y Alberto Gomes, se analizaron propuestas metodológicas que fueron determinantes en el desarrollo de la investigación. Este artículo indaga sobre los problemas de las escorrentías superficiales en las áreas de expansión urbanas, especialmente en algunas ciudades portuguesas, en las últimas tres décadas. Como proceso implica una respuesta hidrológica compleja en las áreas urbanas, teniendo en cuenta la reducción de las áreas más favorables a la infiltración como son los espacios forestales y agrícolas. Al aumentar el área urbana edificada resulta un aumento del suelo impermeabilizado. Por lo tanto, las modificaciones en la ocupación y en la morfología (distribución) del territorio interfieren en la cantidad y velocidad de la escorrentía superficial, modificando también el tiempo de concentración de las escorrentías deprimidas, los cuales contribuyen a la intensificación de episodios de inundaciones urbanas.

Las inundaciones urbanas ocurren durante periodos lluviosos intensos y concentrados en cortos espacios de tiempo. Las inundaciones se presentan cuando, hay incremento de la circulación superficial de las aguas lluvias en suelos impermeabilizados, cuando hay mal funcionamiento o subdimensión de los drenajes especialmente (Marafuz & Gomes, 2013, 482). Este artículo menciona que los estudios sobre inundaciones urbanas

implican un análisis integrado del drenaje superficial a lo largo de las vías y de la red de drenaje pluvial (subterránea) o lo que los autores denominan drenaje dual (aguas servidas y aguas pluviales). La existencia de este tipo de drenajes puede comprometer la capacidad de almacenamiento, provocando un cambio de flujo de agua que vuelve nuevamente a la superficie como escorrentía excedente. Asimismo, menciona otras situaciones problemáticas como son las áreas con concentración de escurrimientos debido a topografías deprimidas o a la retención por barreras artificiales como muros, callejuelas, edificios entre otros, que pueden llegar a retener buena cantidad de agua. Este trabajo presenta un ensayo metodológico, que para este caso resulta muy apropiado para aplicarlo en los estudios de caso, y que se toma como guía de análisis ya que tiene como objetivo fundamental la esquematización e interpretación de la estructura de la escorrentía superficial en las áreas urbanas de Arouca y San Juan de Madeira, con la finalidad de identificar los lugares con mayor susceptibilidad a una concentración de escorrentía superficial. Este análisis implicó un reconocimiento previo, el trabajo de oficina, y posteriormente una confirmación del terreno, la morfología asociada a los núcleos urbanos en estudio y la topografía urbana que condiciona el patrón de escurrimiento superficial.

Como conclusión, el método aplicado en el artículo es práctico y expedito. Logra con información limitada sobre datos del sistema de drenaje pluvial, con lo disponible como son los registros de inundación, la interpretación de las morfologías y tejidos urbanos, llegar a resultados que muestran el estado de interacción entre escurrimiento superficial y subterráneo, No en tanto, este abordaje es fundamental, como lo dicen los autores, para percibir los problemas asociados a la disposición de la red vial y a la cantidad, dimensión y estado de conservación de los colectores pluviales, de manera que permitan explicar las ocurrencias de inundaciones en determinados lugares y hacer un mejor planeamiento en el futuro.

El artículo “Hydro-geomorphologic GIS database in Northern Portugal, between 1865 and 2010: Temporal and spatial analysis” escrito por Mónica Santos, Carlos Bateira,

Laura Soares y Carlos Hermenegildo, se refiere a las inundaciones y los deslizamientos de tierra como los peligros naturales que más afectan al sector norte de Portugal. Los autores presentan los resultados de la base de datos DISASTER, que contiene datos referidos al sector norte de Portugal. La base de datos contiene información sobre eventos de inundaciones y deslizamientos de tierra entre 1865 y 2010 (Santos et al., 2014, 145). El artículo refiere 613 ocurrencias relacionadas con eventos que causaron daños personales, incluidas muertes, heridos, desaparecidos, evacuados y desplazados, que fueron publicados en diarios locales. De los 613 casos 18% fueron causados por deslizamientos y el 82% estuvieron relacionados con inundaciones. Según la base de datos ocurrieron 198 muertes, 58 heridos, 34 desaparecidos, 1804 evacuados y 15.918 desplazados (Santos, 2014, 149). En el artículo se muestra un incremento del 0,17 ocurrencias/década. Se enfatiza la concentración de ocurrencias en las áreas más urbanizadas ya lo largo de los ríos más grandes. Este artículo permite mensurar los impactos causados por las inundaciones urbanas y confirma la relación entre crecimiento urbano y el aumento del número de ocurrencias registradas. Dado que la fuente son las notas publicadas en prensa, se entiende que puede haber un subregistro de los casos ocurridos.

En el artículo “Diagnóstico dos factores condicionantes da susceptibilidade face ao risco de inundação urbana no Concelho de Matosinhos” escrito por Antonio de Sousa Pedrosa y Andrea Cristina Amorin Pereira, publicado en la revista *Territorium 13*, se cotejaron criterios próximos en la determinación de factores determinantes en las inundaciones urbanas en el Concelho de Matosinhos.

Según el artículo, la impermeabilización del suelo resultante de la urbanización conduce invariablemente a una fuerte disminución del desfase temporal entre el momento de la lluvia y la ocurrencia de las inundaciones como consecuencia de la concentración de agua (Pedrosa de Sousa & Pereira, 2006, 26).

La susceptibilidad relativa a los fenómenos de inundaciones urbanos condicionadas por la conjunción de un grupo de factores permanentes, que generan condiciones propicias

para la concurrencia en un determinado lugar, (que el autor llama probabilidad espacial de la concurrencia), con factores desencadenantes, influyen un fenómeno específico (probabilidad temporal de la ocurrencia).

Entre estos factores permanentes se tienen las características geográficas (topografía, morfología declive, litología, tipo de cobertura vegetal, usos de suelo, condiciones de drenaje natural, características de la red hidrográfica y modificaciones antrópicas) y las características de la red de drenaje de aguas pluviales (mantenimiento de la red, limpieza y conservación, dimensiones de alcantarillas y conductores, así como la existencia de estrangulamientos de red (Pedrosa de Sousa & Pereira, 2006, 35).

Los autores marcan como factores desencadenantes las condiciones meteorológicas (cantidad, duración, intensidad de precipitación, concentración temporal, distribución espacial de la cuenca hidrográfica) y eventuales intervenciones antrópicas, como fallas técnicas o rupturas de tubería.

En este documento, se busca comprender los factores permanentes que influyen en la probabilidad de ocurrencia de inundaciones urbanas, dentro del dominio del ordenamiento territorial; el entender estos factores puede ser una valiosa acción preventiva dentro de la gestión del riesgo natural. Sin embargo, para los autores del artículo, este análisis no fue posible adelantarlos por la falta de información de precipitación disponible. Esto mismo sucede hoy en día en Portugal, la insuficiente información de precipitación no permite elaborar cierto tipo de análisis.

En los objetivos de este artículo, se tomó como estudio de caso el Concelho de Matosinhos, teniendo en cuenta su rápido proceso de urbanización en la segunda mitad del siglo XX y el riesgo de inundación urbana de este municipio.

A partir del análisis del crecimiento del número total de edificios construidos en el Concelho de Matosinhos, en la subsección de estadística (BGRI - Base Geográfica de referenciación de Información 2001) es posible observar que el período seleccionado,

ofreció una percepción de la evolución del área edificada, permitiendo constatar la rápida expansión del tejido urbano principalmente después de 1980.

En este artículo se verifica que en 1945 la densidad urbana en la mayoría de las freguesias del Consejo de Matosinhos era relativamente incipiente, en 1980, el núcleo consolidado de las freguesias de Matosinhos y de Leça de Palmeira, las freguesias de Guifoes, Custoias e Sao Mamede Infesta, bien como límite de NE de Santa Cruz ya presentaban una malla urbana relativamente densa. En esa década se presentó un fuerte crecimiento de áreas urbanizadas en Matosinhos, especialmente en las freguesias de Senhora de Hora, São Mamede Infesta, al norte de la freguesia de Leça da Palmeira y al extremo SE de Santa Cruz de Bispo. Para la década del noventa, se percibe un descenso en el proceso de urbanización del Concelho.

En este artículo se concluye que, en el análisis de los numerosos casos de inundaciones urbanas, se comprueba por parte de los especialistas en hidrología que, en la expansión de las áreas urbanas, sin considerar un porcentaje correcto de impermeabilización del suelo y un adecuado diseño de drenajes, hay más posibilidades del riesgo de inundación. En el artículo se da relevancia protagónica a la precipitación, factor que no es considerado vital en el análisis propuesto desde lo ambiental para el ordenamiento territorial. Si bien, la precipitación es un factor importante, hay consideraciones sobre la precisión y la cantidad de datos, dada la información limitada a la única estación pluviométrica. La consecuencia de la impermeabilización en los tejidos de la urbanización afecta el manejo y mantenimiento de las redes de drenaje. Las modificaciones antrópicas, la morfología y la construcción sobre el sistema hídrico, la artificialización de los canales de agua sin un adecuado diseño de las tuberías y la falta de mantenimiento regular, limpieza de canales, así como la insuficiente dimensión de las tuberías pluviales, son factores incidentes en el aumento de las inundaciones urbanas.

Teniendo en cuenta las causas de aumento del riesgo de inundación urbana expuestas, se cree que una postura diferente de la ciudadanía en la dinámica del medio físico podría contribuir a una reducción significativa del riesgo y presenta varios principios de actuación en la gestión del territorio urbano que deben integrar la estrategia de mitigación del riesgo de inundación urbana. Las consideraciones contenidas en el texto se relacionan con:

- Respeto por el lecho de los ríos y riberas
- Procurar la preservación de las áreas verdes en áreas aglomeradas urbanas permitiendo la infiltración de las aguas lluvias
- El esfuerzo de proyectar (en lo posible corregir) redes de drenaje dimensionadas para flujos de escorrentías excepcionales
- La preocupación por la vigilancia del estado de conservación y limpieza de la red de drenaje de las aguas lluvias.

Finalmente, el autor, recomienda el conocimiento detallado de la red, así como la creación de un SIG para su gestión y el control con presencia física en el territorio.

3.ÁREA DE ESTUDIO

En el sector noreste del territorio portugués; al oeste del Distrito de Oporto; dentro de su área metropolitana, se encuentra el "*Concelho*" de Matosinhos. Como se aprecia en la Figura 1 Está localizado en el litoral, situado directamente en la costa atlántica, limita al norte con el municipio de Vila do Conde, al este con el municipio de Maia, al sur con el municipio de Oporto y al oeste con el océano Atlántico.

La ciudad de Matosinhos es conocida por su puerto marítimo y su larga tradición pesquera. El puerto de Matosinhos, Leixões es el segundo puerto², en cantidad de servicios, para Portugal y por ende desempeña un papel crucial en la economía local (Beja Inglez de Souza & Tavares, 2020, 14). Además de la pesca, el puerto también es utilizado para el comercio de contenedores y la industria del turismo, ya que cuenta con una terminal de cruceros. El Concelho tiene un área de 62,42 Km².

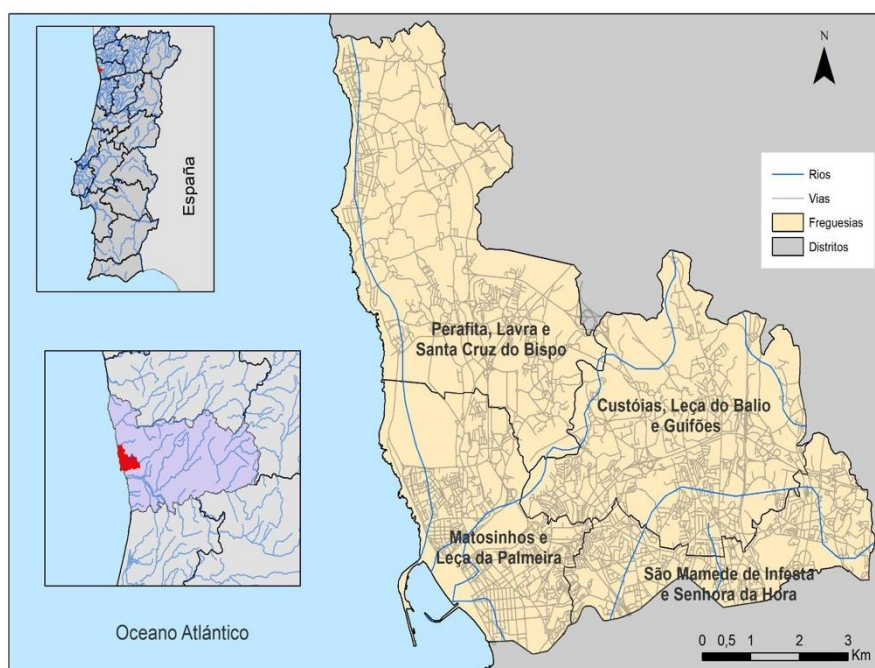


Figura 1 Mapa geográfico del área de estudio. Fuente de datos: CMM 2019

² Este puerto es un dinamizador económico importante para el Norte del país y está insertado en el área urbana de Matosinhos e inicios de la ciudad de Oporto.

El concelho de Matosinhos está compuesto por 10 freguesias³ de las cuales la unión de las freguesias de São Mamede de Infesta y Senhora da Hora y la unión de las freguesias de Matosinhos y Leça da Palmeira son las más pobladas y las que se encuentran a la vera de cuerpos de agua. Limita al norte con el municipio de Vila do Conde, al sur con Oporto, al noreste con Maia y al oeste con el Océano Atlántico. El municipio cuenta con 175.478 habitantes en 2011 (INE, 2020)

La meteorología en Matosinhos sigue un patrón típico de clima mediterráneo, con influencia oceánica debido a su ubicación en la costa atlántica de Portugal. La temperatura de Matosinhos tiende a ser suave durante todo el año. Los veranos son cálidos, pero no extremadamente calurosos, con temperaturas medias diarias que oscilan entre los 20°C y 25°C. Los inviernos son normalmente suaves, con temperaturas diarias promedio que rara vez bajan de los 10°C (IMPA 2019). Las precipitaciones son más frecuentes durante esta temporada, y es posible que experimentes días lluviosos con temperaturas más frescas.

No obstante, Matosinhos recibe precipitaciones a lo largo de todo el año, pero los meses de otoño e invierno son más húmedos. Los meses de verano, aunque generalmente más secos, aún pueden tener lluvias ocasionales. El municipio debe enfrentar de manera prioritaria los riesgos relacionados con el desborde costero y el exceso de precipitaciones (aluviones e inundaciones) (Berrance, 2020, 13).

La región donde se asienta Matosinhos muestra proyecciones de variabilidad marcadas por la disminución de la precipitación media anual, un aumento de la temperatura media anual, especialmente de las máximas, un aumento del nivel medio del agua del mar, una disminución del número de días con heladas y un aumento de los fenómenos extremos. Frente a la temperatura, se prevé que ésta aumentará a unas máximas en otoño y verano, y se contempla el incremento de días con temperaturas más altas que

³ Las freguesias se dividen por uniões de freguesia: Custóias, Leça do Balio y Guifões conforman una unión de “freguesias”; Matosinhos y Leça da Palmeira conforman otra unión de freguesias; Perafita, Lavra e Santa Cruz do Bispo es una unión; y por último está la unión de las “freguesias” de São Mamede de Infesta e Senhora da Hora.

el promedio histórico (35°C) con noches tropicales (temperaturas mínimas > 20°C) (MeteoBlue, 2006-2022). Esto marcado con el aumento de sensación de sofoco. Se prevé además fenómenos extremos, como la presencia de fuertes tormentas invernales, las cuales se acompañarán de lluvias y vientos fuertes.

Debido a su ubicación costera, Matosinhos tiende a tener una humedad relativa bastante alta durante gran parte del año (IMPA, 2019). Esto puede influir en la percepción térmica, haciendo que las temperaturas se sientan más frescas en invierno y más cálidas en verano. Los vientos marítimos también son frescos y húmedos y pueden moderar las temperaturas y afectar la sensación térmica, los límites máximos y mínimos de temperatura se aprecian en el Figura 2.

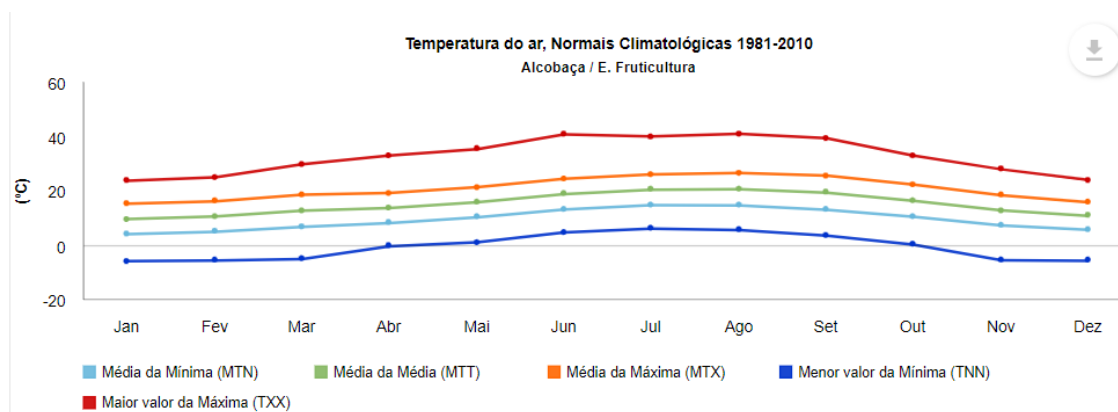


Figura 2 Temperatura máxima (línea roja) y mínima (línea azul) medias, con rangos de 25º a 75º y de 10º a 90º percentil. Las líneas finas en puntos son las temperaturas medias percibidas Fuente de datos: IMPA 2019

Esta investigación sobre inundaciones urbanas se concentra en la localización y análisis de los lugares urbanos donde se presentan sucesos reiterados de apozamiento de lluvia en la ciudad de Matosinhos. A partir de las preguntas formuladas y a la contrastación de imágenes cartográficas con datos de archivo se desarrolla un proceso digital de localización, identificación de recurrencias y determinación de lugares relacionados. Se introduce, en esquemas obtenidos de imágenes de Google Earth, información empírica acumulada en recorridos de campo. Con esos diversos insumos se propone una reflexión sobre la importancia de incluir temas ambientales y fenómenos específicos, como las inundaciones urbanas, en los procesos de ordenamiento del territorio.

3.1 Análisis Geográfico, Hidrológico Y Biótico

El análisis de los factores geográficos, hidrológicos y bióticos, son fundamentales para la comprensión de las cualidades y atributos del territorio que contiene el área de estudio. Por esa razón incluimos los ítems de la estructura ambiental e hidrográficos relacionados con el río Leça y su cuenca, las condiciones de la topografía en la geografía del Concelho, las coberturas vegetales y los sistemas bióticos relacionados.

3.1.1 Características de la cuenca hidrográfica del río Leça

En la freguesia de Monte Córdova, Concelho de Santo Tirso, en el Monte de Santa Luzia, a 420 metros de altitud, nace el río Leça. Geográficamente está localizado en el Área Metropolitana de Porto. Sus principales afluentes son Ribeira do Arquinho y Ribeira de Leandro (AMPorto, 2009, 56). En su recorrido atraviesa cuatro concelhos: Santo Tirso, Valongo, Maia y Matosinhos. Sus aguas fluyen a lo largo de 46,7 km (Dias et al, 1995), hasta desembocar en el Océano Atlántico en el Puerto (AMPorto, 2009).

La cuenca del río Leça está situada entre las cuencas de los ríos Ave y Douro. En dirección Nordeste-Sudoeste, tiene una forma estrecha y alargada, con una altitud media de 145 metros. El 85% del área de la cuenca se encuentra por debajo de los 200 metros (AMPorto, 2009, 1). Esta cuenca tiene un área de aproximadamente 190 km². En esta tesis se trabajará exclusivamente con el área de cuenca implicada en el *Concelho de Matosinhos* que tiene una superficie de 62,4 km² (Velhas, 1991, 208) que está muy relacionada con el puerto.

En términos geológicos, en la cuenca del río Leça predominan granitos cortados por formaciones sedimentarias, hacia la parte costera de la bahía, donde se localiza el puerto se encuentra micaxisto, gnaiss, granito de Castelo de Queijo, Sedimentos, y Granito de Porto entre otros materiales, como se aprecia en la Figura 3.

En el documento Agência Portuguesa do Ambiente, 2015, se hace también una descripción pormenorizada de los tipos y clases de rocas localizados en la estructura geológica de la cuenca. El documento incluye también referencias a la flora característica de la cuenca.

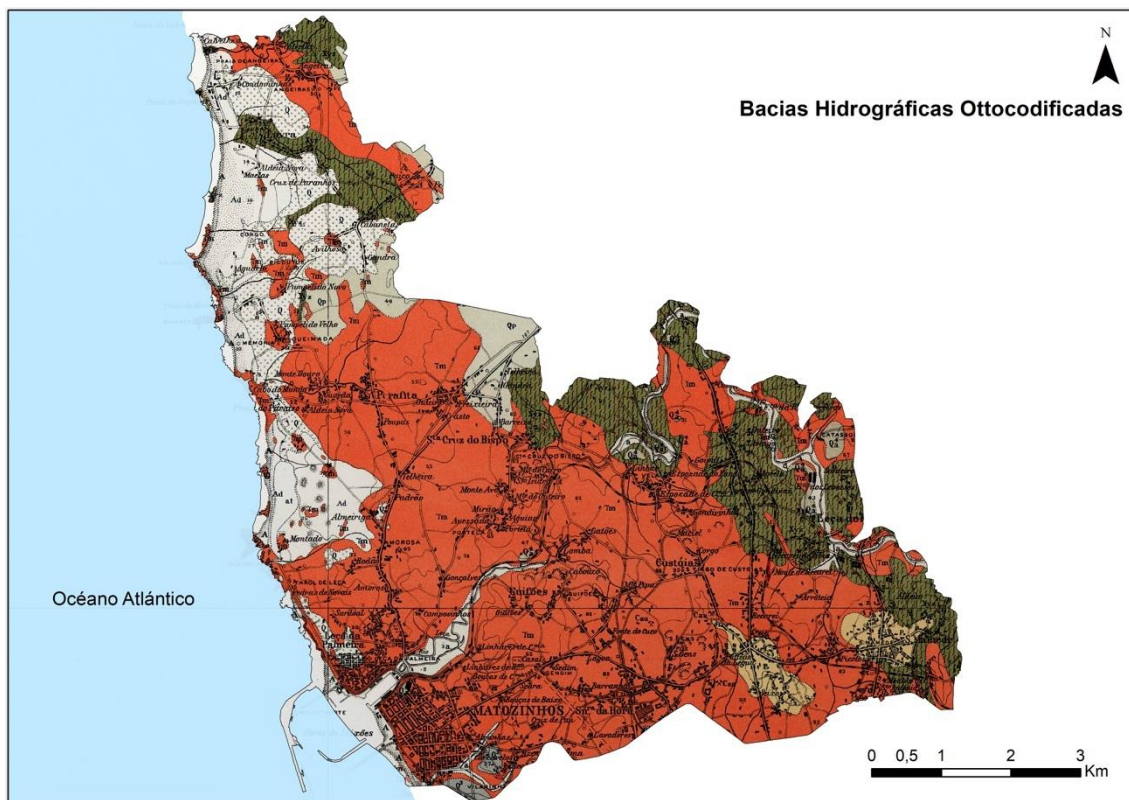


Figura 3 Base Hidrográfica Otcodificada Multiescalas 2020. Fuente: GeoPortal Energia e Geologia.

La cuenca del río Leça presenta una estructura geológica donde priman los granitos atravesados por formaciones sedimentarias (Agência portuguesa do Ambiente, 2015, 6). En la zona de Matosinhos próxima a Maia, donde se localizan las parroquias de Vila Nova da Telha, Gemunde, Moreira, Barca, Maia, Vermoim, Gueifães, Milheirós y Águas Santas, se presentan rocas del Grauvaca, Complejo de esquisto. A lo largo del río Leça, en el sector occidental de Matosinhos, se evidencia la presencia de aluvión (AMPorto, 2009, 354). Para ilustrar la composición geológica en el área de estudio se presenta en un fragmento de la Carta Geológica de Portugal en escala 1:500.000 en la Figura 4.

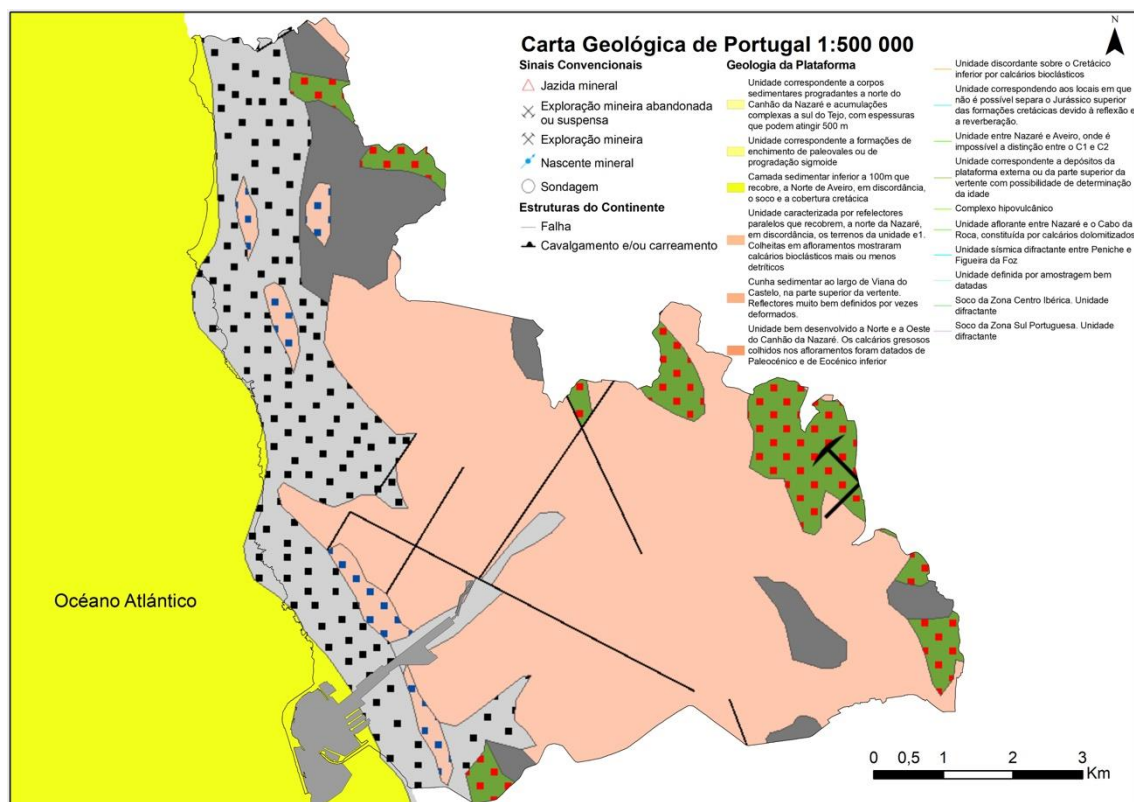


Figura 4 Carta geológica de Portugal. Fuente de datos: GeoPortal Energia e Geologia 2020

En el año 2009 se presentó un Plan Maestro para el corredor del río Leça, que atraviesa el Área Metropolitana de Porto (AMP). La idea es la de un corredor verde a lo largo de los 45 km del cauce del río. (AMPorto, 2009, 217). Este plan no tuvo relación legal y, por lo tanto, no fue incluido en el PDM. En 2015 inició el Convenio de Cooperación entre la AMP y los municipios San Tirso, Valongo y Matosinhos. En esa instancia se planteó adelantar el Estudo Prévio para Qualificação e Valorização do Corredor do rio Leça. Según Higuera y García (2022) el Master Plan centró sus actividades en el río y las áreas marginales próximas a su cauce. Se buscó proteger el ecosistema natural de la expansión de la urbanización densa y discontinua que desde mediados del siglo XX lo había fragmentado y contaminado (Agência Portuguesa do Ambiente, 2015, 549). El plan comenzó en 2020 e inició la construcción de los primeros siete kilómetros (Higuera García & García-González, 2022, 11). La cuenca del río Leça tiene una extensión de 190 km². En esta tesis sólo se trabajará el área implicada en el Concelho de Matosinhos que tiene una superficie de 62,4 km² (Velhas, 1991, 208).

3.1.2 La Geografía y la Topografía

La geografía aplicada a la planeación identifica los contrastes regionales existentes en el territorio analizado, tanto en sus aspectos físicos como humanos, inserto en niveles espaciales y temporales de diversa jerarquía. La geografía urbana aborda temas relacionados con la movilidad, la renovación, las condiciones de los equipamientos, la cuantificación y cualificación de la vivienda (Mendes, 2020, 92). En ese ámbito la geografía se vincula con la sociología urbana, generando métodos de análisis pluridisciplinarios, integrando la participación ciudadana en los procesos de ordenamiento físico del territorio. En ese ámbito amplio de la geografía, el tema de las precipitaciones y las inundaciones urbanas hace parte importante. La costa atlántica, el territorio marcado por la estructura hidrográfica, los usos y la caracterización de los suelos, determina la espacialidad donde se suceden los eventos pluviales y las inundaciones urbanas

En tal sentido, desde la perspectiva física, se considera desde la geografía, la topografía, la hidrografía, Ver Figura 5 Mapa de cuerpos de agua, las estructuras ambientales, y las acciones antrópicas que suceden en el territorio. En términos generales de la región se revisaron: las Áreas de Reserva Ecológica Nacional REN, Figura 6 las Áreas de Reserva Agrícola, Figura 7 para el área de Matosinhos así como la Estructura Ecológica Municipal de Matosinhos Figura 8, las alturas promedio sobre el nivel de mar se aprecian en la Figura 4 y la cuenca hidrográfica del río Leça, Figura 5.

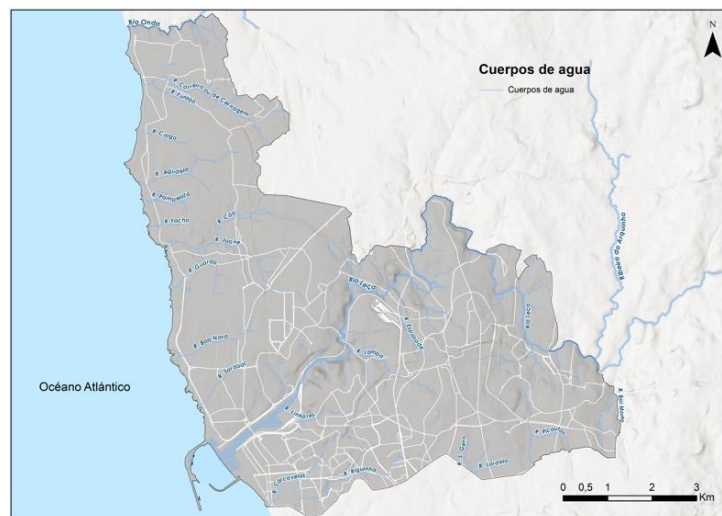


Figura 5 Cuerpos de agua Fuente de datos: CMM 2019

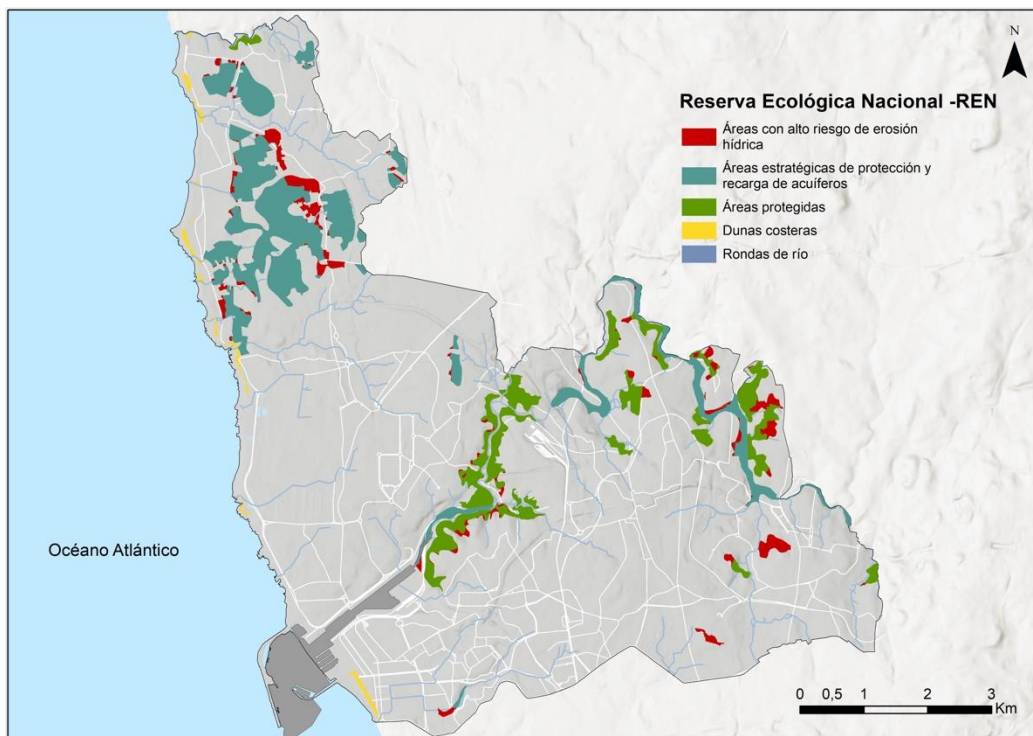


Figura 6 REN Reserva Ecológica Nacional. Fuente de datos: CMM 2023.

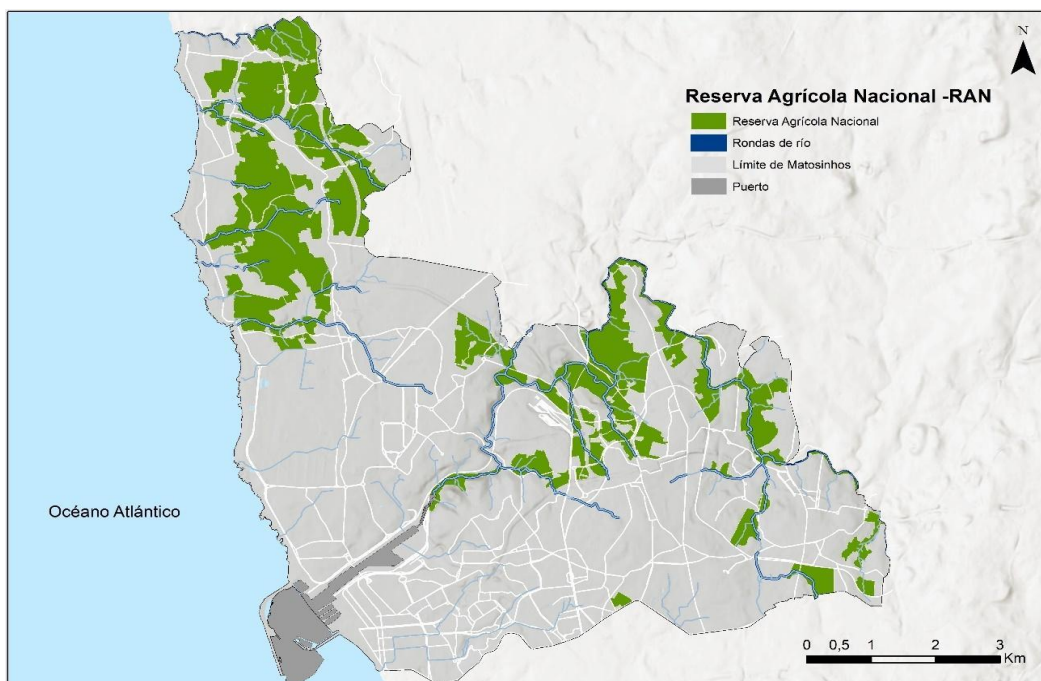


Figura 7 RAN Reserva Agrícola Nacional. Fuente de datos: CMM 2023.



Figura 8 Estructura Ecológica Municipal con la estructura ecológica fundamental y la estructura ecológica complementaria. Fuente: Quaternaire, Portugal 2019.

La topografía, en el territorio de Matosinhos, posee características y atributos determinados por su condición costera. La estructura hídrica, en su naturaleza atiende al curso del río Leça y sus afluentes (Mendes, 2020, 92). Morfológicamente el área de Matosinhos es un conjunto de concavidades y plegaduras que descienden, sobre el eje de la cuenca del Leça, en un rango de elevación entre los 120 a 0 msnm, según los análisis realizados en esta tesis. En tal sentido, el territorio del Concelho de Matosinhos, en sentido transversal, no tiene grandes inclinaciones. Los solapes laterales de la microcuenca convergen al caudal principal del río Leça. Debido a que sus pendientes descienden en dirección al río Leça, y éste al Atlántico, se conforma un conjunto de los arroyos topográficos que conducen las aguas al mar. Las aguas, en las diversas escorrentías que componen el sistema, se desplazan con distintas velocidades, con grados de fricción diferenciados, que dependen de la red de vertimientos y escorrentías en cada uno de los sectores topográficos de la geografía del territorio del Concelho. En esa dinámica, en algunas de las plegaduras, los aterrazamientos, las mesetas intermedias, los escalones, parte del volumen de la corriente de aguas lluvias disminuyen su velocidad, producen encharcamientos y generan, en diversos periodos,

inundaciones urbanas. Son empozamientos de agua temporales que modifican la condición de la superficie de los lugares urbanos y producen trastornos, afectaciones, a las actividades cotidianas de los ciudadanos y a los desplazamientos programados de los turistas. El paisaje lluvioso de los paraguas y zapatos mojados induce a cambios de planes de las actividades ciudadanas, por la búsqueda de protección de las personas en lugares públicos o privados, bajo cubierta, protegidos de las incomodidades causadas por las lluvias.

3.1.3 Coberturas y sistemas bióticos

La ubicación de Portugal entre climas atlánticos y mediterráneos explica la presencia de dos áreas de hábitat diferenciados, cada uno de ellos posee sus propias especies de fauna y flora. Matosinhos se localiza en el sector del clima atlántico, por lo tanto, su flora y su fauna corresponden a una condición de clima costero.

Matosinhos, como ya antes se ha dicho, es una ciudad costera en el norte de Portugal, es un lugar donde la biodiversidad y la interacción entre la vida silvestre y el entorno urbano se entrelazan de manera única (de Sousa Ribeiro, 2012, 26). La ubicación privilegiada de Matosinhos en la costa del Atlántico le brinda una rica diversidad de especies vegetales y animales, marinas y costeras, mientras que la coexistencia con áreas urbanas presenta desafíos y oportunidades para la conservación de la naturaleza en este entorno dinámico. Ver Carta de Ocupación del Suelo Figura 9

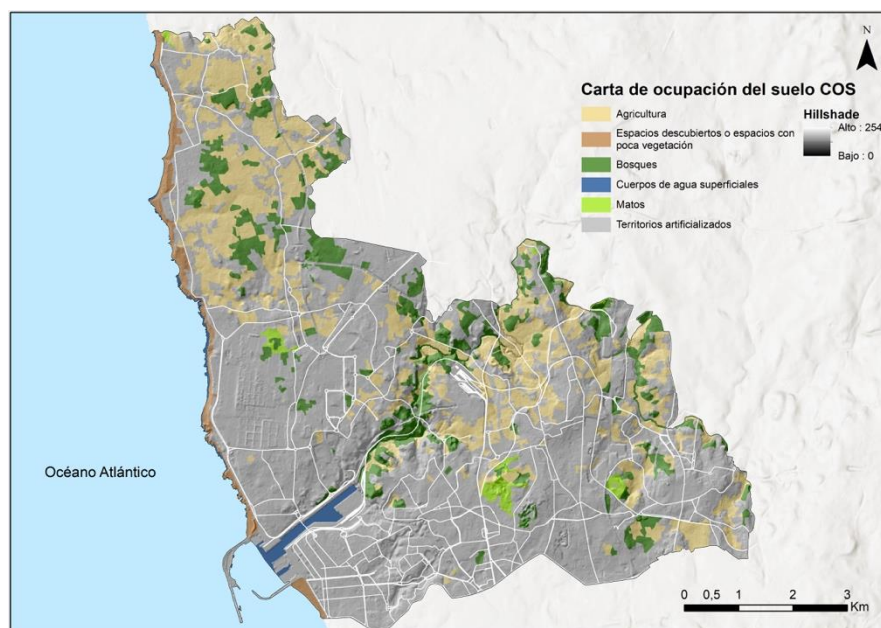


Figura 9 Carta de Ocupación del suelo COS Actualizada 2022 Hillshade Fuente de datos: CMM 2019

COBERTURAS VEGETALES

En el valle del río Leça, en Monte Córdova y en el valle que va entre Pereiras y Ponte das Cabras, existe gran diversidad vegetal (AMPorto 2009, 43). Hay regeneración natural de retamos, helechos, zarzas y castaños. A lo largo de los caminos se encuentran líneas de laureles que enmarcan los senderos. En el campo cercano hay algunos árboles frutales, como naranjos, higueras, ciruelos. En la parte alta de los cerros hay grupos robustos de robles (AMPorto, 2009, 44).

En lugares húmedos deprimidos se encuentran grupos de sauces. Todavía quedan algunos árboles frutales esparcidos por los campos, principalmente en los bordes, como naranjos, higueras, ciruelos. En la ronda del río Leça se localizan ejemplares de álamos y alisos. En sectores con afloramientos de rocas graníticas crecen retamos, alcornoques, pinos marítimos, laureles y eucaliptos (AMPorto, 2009, 50). En las riberas, los estratos bajos están compuestos por cubresuelos con violetas y primulas, acompañados de helechos rastreros y hiedras. En la proximidad de la cascada de Fervença hay robles y alcornoques. Sobre los peñascos se localizan narcisos, jacintos, lirios, entre otras vegetaciones (APA, 2015) .

En la galería de la ribera del Leça se destacan los alisos y en algunos tramos los álamos y los sauces. En Matosinhos, antes predominaban los bosques de robles y alcornoques, alisos. En sectores anegados crecen alisos y sauces negros. En síntesis, las coberturas vegetales presentan florestas de eucalipto, de especies resinosas, de otros follajes, de pinos etc. como se presenta en la Figura 10.

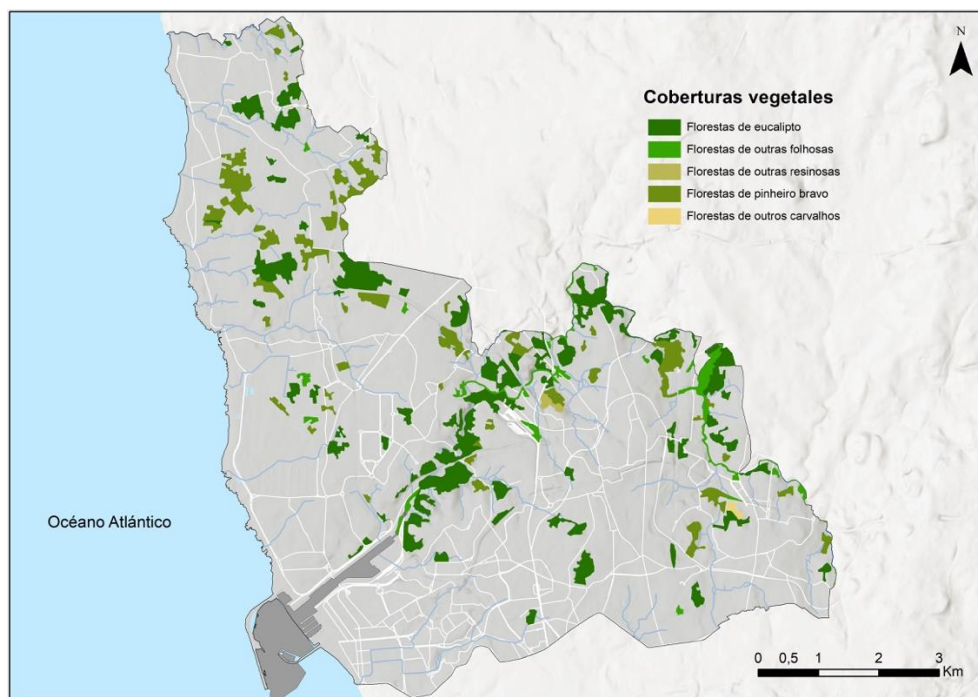


Figura 10 Mapa de coberturas vegetales en Matosinhos. Fuente de datos: CMM 2019

Las condiciones geológicas y bióticas de Matosinhos, en esta tesis, son relevantes en términos de sus cualidades y atributos relacionados con la calidad de permeabilidad del suelo.

El litoral atlántico presenta una vegetación diferenciada. Para el caso de la región nordeste el clima pertenece a la región atlántica. en este sentido es posible hablar de una flora atlántica la cual se caracteriza por una vegetación de un verde intenso, frente a la costa occidental, allí dominan bosques con presencia de especies como: roble albar, o carvalho, avellano y abedul, así como brezos, zarzas y hiedra con algunas variedades de pinos, en donde predomina el pino marítimo (*NaturaLista*, 2017)

FAUNA

El hábitat de la región costera del nordeste se caracteriza por la presencia de mamíferos pequeños como conejos o liebres y comadrejas; en general hay una gran variedad de aves, entre las cuales se encuentran las aves relacionadas con el hábitat costero o aves marítimas, denominadas así porque viven y se alimentan del mar, entre las aves que hacen presencia se destacan los cormoranes, las gaviotas, los alcatraces pos painos y

pardelas los vuelvepedras y los andarríos (Munilla, 2022, 57). El territorio de Portugal es un lugar clave igualmente para las aves migratorias. En las áreas marinas se destacan peces y crustáceos; entre los peces son numerosas la sardina, el atún y la caballa, en los ríos, las truchas y salmones.

3.2 Crecimiento Urbano en Matosinhos

Desde tiempos del medioevo Matosinhos fue enclave habitado por pescadores y agricultores. (Câmara Municipal de Matosinhos, 2019, 25) En el siglo XIX se localiza el puerto y este lugar se transforma en zona portuaria e industrial. Esta actividad cambia la dinámica de uso y ocupación del territorio permitiendo el desarrollo de otras actividades como la industrial portuaria y sus complementos. La estructura urbana toma una nueva dinámica (Dias Valente, 2014, 13).

Hoy la trama territorial de Matosinhos tiene una particularidad y es el tener enclaves rurales en medio de los desarrollos de tejidos urbanos localizados a lo largo de las vías. El puerto es un dinamizador económico importante para el norte del país insertado en el área urbana de Matosinhos (Berrance, 2019, 10).

La estructura urbana de Matosinhos se consolidó a finales del siglo XIX (Tucci, 1997, 46). La instalación del puerto, como estrategia de desarrollo industrial, permitió la introducción de diversas actividades a Matosinhos. La construcción de vías fue necesaria para el buen funcionamiento del puerto, así como la introducción de sistemas e instalaciones para el transporte público. Ver Figura 11 proyectos que dan cuenta del crecimiento de Matosinhos junto al puerto.

3.2.1 Evolución Urbana

El puerto de Leixões está localizado en la desembocadura del río Leça. Para su construcción se organizó un concurso en 1883 (Dias Valente, 2014, 84). Al año siguiente se seleccionó el proyecto ganador. Se construyó una línea férrea de 5,5 km, vinculando a Porto con la pedrería de S. Gens (Infraestrutura e habitação, 2022, 24). Estas actividades se recogen en las imágenes de la Figura 11 La fase inicial del puerto fue concluida en 1892.



Figura 11 Proyectos de conexión ferroviaria entre Oporto y el puerto comercial de Leixões Fuente: Arquivo da Administração os Portos do Douro e Leixões 1907

En 1887 fué construido el puente metálico entre Leça y Matosinhos (Mendes, 2014, 110). El desarrollo de las infraestructuras, ligadas al puerto, se complementa con el sistema de iluminación pública, con la extensión de las redes de agua, la construcción de conjuntos de edificaciones fabriles. En 1896 el arquitecto Lício Guimarães trazó un esquema de proyecto urbano, con tramas ortogonales y definición de manzanas y dimensión de calles (Carvalho de Oliveira 2022, 8). En esa área estaba localizado el hipódromo de Matosinhos. Las calles largas fueron trazadas paralelas a la playa. El incremento de la población fue consecuente con la ampliación de la traza urbana, la oferta laboral en las fábricas -especialmente las de conservas- y la actividad tradicional

de los pescadores. Un ejemplo del crecimiento de la traza urbana se observa en un plano de 1896 en la Figura 12.



Figura 12 Matosinhos traza. Lício Guimarães. 1896. Fuente: Arquivo da Administração dos Portos do Douro e Leixões 1907

El crecimiento urbano de Matosinhos y Leça produjo la demolición, a partir de la segunda década del siglo XX, de importantes zonas en sus centros históricos (Carvalho de Oliveira, 2022, 67). La expansión urbana, durante la primera mitad del siglo XX, incluyó en la trama grandes terrenos, con edificaciones apropiadas para las actividades industriales ligadas al puerto de Leixões. Entre ellos se encuentran los Silos de Leixões, el terminal TIR, Exponor, Refinería Petrograd, Aeropuerto Dr. Francisco da Sá Carneiro, Parques Empresariales. Para el final del siglo XX muchas de las áreas industriales entraron en crisis y obsolescencia, transformándose en potenciales vacíos urbanos. Fue necesario recualificar esas áreas. En 1993 se propuso el Plano de Reconversão Urbana de Matosinhos. En 2009, el arquitecto Alvaro Siza, lideró el equipo que propuso el nuevo Plano de Urbanización de Matosinhos Sul (PUMS) (Câmara municipal de Matosinhos, 2015, 245). En 2019 se revisó el Plano Director Municipal de Matosinhos (PDMM) para ajustar el PDM de 1992. Se procuró Expansión de las áreas urbanas sobre suelos rurales e introducir en el PDM especificidades de las condiciones ambientales, económicas, sociales y culturales. En la Figura 13 se muestra el esquema del proceso de revisión del PDM de 1992 llevado a cabo en 2019.



Figura 13 Proceso de revisión del PDM De CMM 2019 Fuente de datos: CMM 2019.

La industria ya no tiene como emplazamiento preferente las riberas de los ríos, que ahora presencian, salvo contadas excepciones, el abandono de las antiguas naves industriales (Câmara municipal de Matosinhos, 2015, 94). Por otro lado, la mancha urbana superó el borde de la ronda del río, en toda la zona aguas abajo de la cuenca, sin establecer con él una relación de complementariedad espacial y funcional (Berrance, 2019, 12).

Lenta y progresivamente, esta fase de alineación socioterritorial ha ido dando paso a un redescubrimiento del río Leça, marcado por la toma de conciencia simultánea y no articulada entre los diversos agentes territoriales de los valores ambientales, ecológicos, económicos, sociales, culturales y simbólicos del río. Se multiplican las iniciativas, en la mayoría de los casos inconexas, para solucionar la necesidad aún acuciante de saneamiento de las aguas e intervenciones puntuales para la recalificación de las riberas, revelando la complejidad de la actual fase de redescubrimiento del agua en la ciudad (Madureira, 2016).

En la tesis doctoral *Protagonismo del Vazio: la urbanidad del territorio*, de Luisa María Dias Valente, revisa la vinculación de la malla urbana con su territorio circundante, en la cual se observa el crecimiento de Matosinhos desde el siglo XVIII hasta 1978, en ella se interpreta la manera como se estructuró en el tiempo la malla urbana (Dias Valente, 2014), Figura 14.

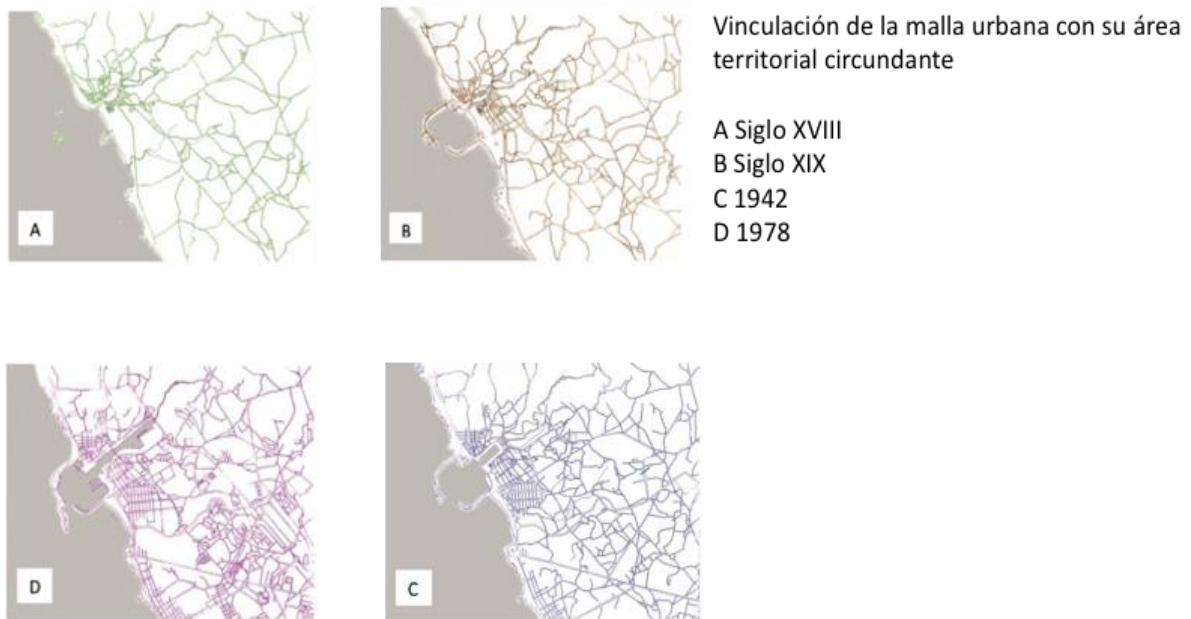


Figura 14 Crecimiento malla urbana Fuente: L. Valente, 2014

La figura 15 refiere al crecimiento de las áreas urbanizadas desde 1995 hasta el 2022. Se observa un aumento exponencial de áreas artificializadas; en donde en 1995 se encontraba solo un 50% del área urbanizada y ya para el 2022 un 66%. Se observa un aumento exponencial de áreas artificializadas; en donde en 1995 se encontraba solo un 50% del área urbanizada y ya para el 2022 un 66% de áreas impermeables. Se espera que para dentro de unos años, el crecimiento aumente debido a las políticas de densificación y capacitación al sur de la A4 según el PDM 2019.

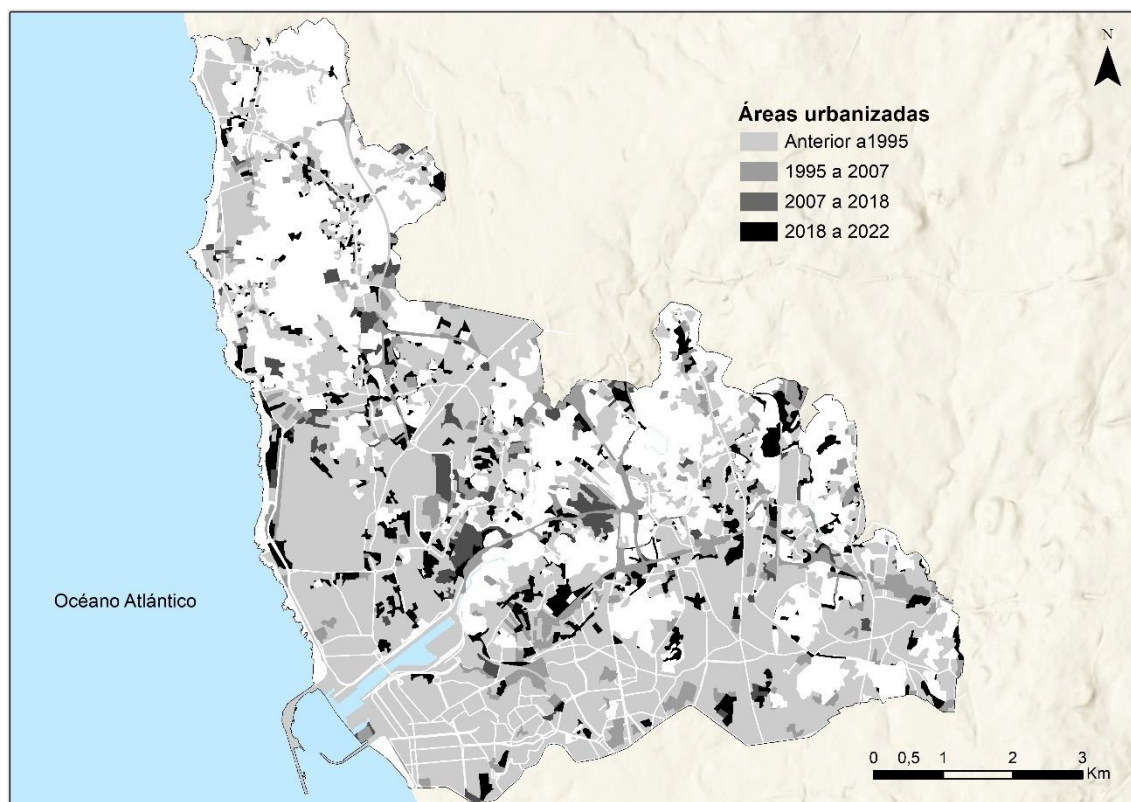


Figura 15 Áreas Urbanizadas desde 1995 a 2022 Fuente de datos: CMM 202

CRECIMIENTO POBLACIONAL

La demografía de Matosinhos, Portugal, se caracteriza por ser un área densamente poblada a escala nacional debido a su ubicación en la costa atlántica y su proximidad a la ciudad de Oporto (Balsas, 2006, 91). Matosinhos es uno de los municipios más poblados de Portugal (Berrance, 2019, 20). Debido a su relativamente pequeña área geográfica, la densidad poblacional de Matosinhos es alta. Esto se debe en parte a su ubicación costera y su importancia económica y comercial. Según la CMM; el municipio se mantiene, así como el 8º más poblado del país, el 4º de la Región Norte y el 3º del Área Metropolitana de Oporto (Berrance, 2019, 14).

En el PDM (2019) las consideraciones sobre la dinámica demográfica tienen como base el censo de población realizado en 2011. El número de residentes en Matosinhos se

calcula en 175.478 habitantes (INE, 2020). El índice de crecimiento alcanzado al final del siglo XX, en contraste, presenta un decrecimiento en términos de nacimientos y localización de migrantes. La estructura etaria de la población muestra una tendencia al envejecimiento, y aumento en la condición de longevidad. En consecuencia, ha disminuido la tasa de nacimientos y ha aumentado la migración de gente joven, buscando otros destinos. Se ha reducido la capacidad de reposición de población joven y activa. Las familias han aumentado en su cantidad, pero han disminuido en el número de sus componentes. Hoy hay predominancia de hogares con parejas sin hijos y unipersonales. Hay incremento en la compañía de mascotas. Hay también, debido a las crisis económicas, retorno de hijos adultos a la casa paterna (Berrance, 2019, 8).

En términos de grados de educación de la población, se ha superado el estado de analfabetismo; hay mayor escolaridad, menor abandono académico e incremento en los niveles de formación secundarios y superior.

En general la población ha descendido levemente después del 2011 como se aprecia en la Figura 16 donde se puede apreciar de un descenso poblacional en Matosichos a partir del 2011, el cual permanece en descenso hasta el 2021, según los datos de Pordata 2022

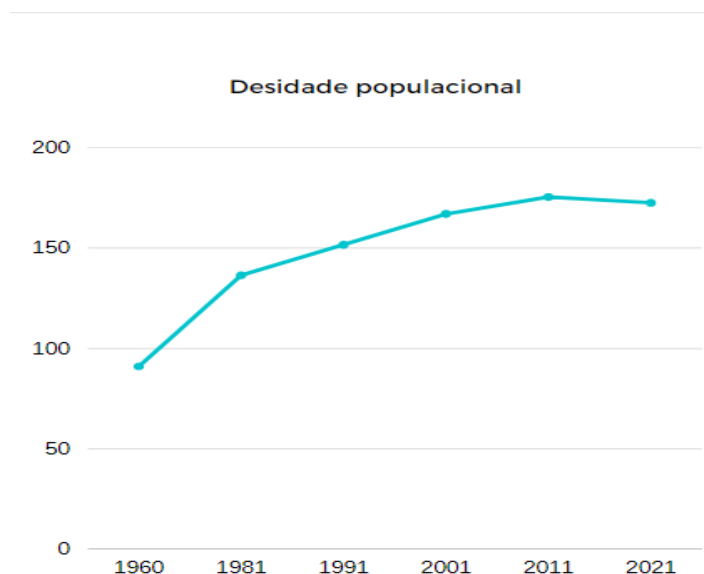


Figura 16 Densidad poblacional 1960 -2021. Fuente de datos: Pordata 2022

La población cualificada tiene acceso a otras labores, especialmente en el sector terciario. La densidad poblacional por sub-secciones muestra una mayor cantidad de población en la Unión de Freguesias Matosinhos y Lexa da Palmeira Figura 17

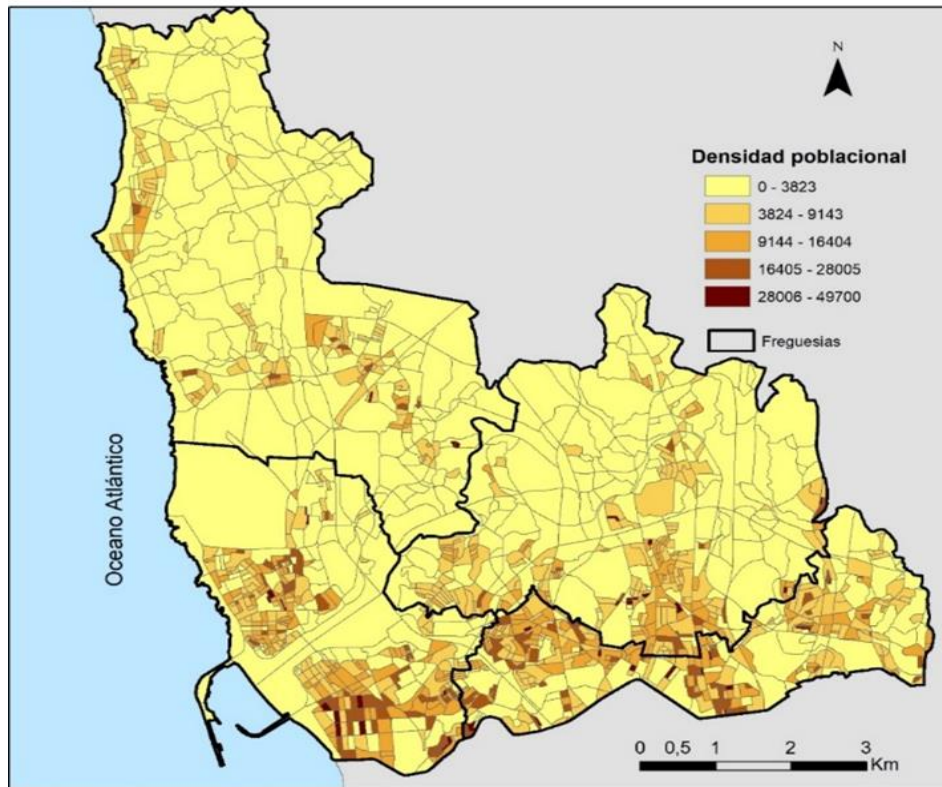


Figura 17 Mapa de Densidad poblacional Matosinhos por uniones de Freguesias. Fuente de datos: BGRI 2019

3.2.2 Proceso Urbano de Matosinhos

La localización estratégica para el desarrollo naviero y comercial del puerto de Leixões, al inicio del siglo XX, incidió en la conformación del tejido urbano de Matosinhos (Mendes, 2020, 92). El sector del puerto comparte la vecindad de las Freguesias de Leça de Palmeira y Matosinhos.

En términos históricos, en 1853 fue creada la Vila de Matosinhos. 42 años después, en 1895, fueron separadas e incorporadas a Porto las Freguesias de Remalde, Aldoar y Novogilde (AMPorto 2009). El 6 de mayo de 1909, por solicitud de la Câmara Municipal,

se cambió la denominación de la Vila a "Concelho de Matosinhos". El 28 de mayo de 1984 Matosinhos obtuvo la categoría de ciudad (Alves da Silva, 2020, 41).

Hacia finales del XIX cerca al puerto se consolidaron actividades de prestación de servicios complementarios al comercio marítimo y navegación. Durante la primera mitad del siglo XX, con la intervención de Barry Parker que amplía y cualifica la Praça de la Liberdade, se consolida y reafirma la nueva centralidad. Como esta plaza hay otras que presentan el mismo servicio, sin embargo, la Praça de la Liberdade, es importante en este caso, debido a que fue de las primeras a ser construidas con este propósito. Mas adelante Matosinhos sigue su idea construyendo su mercado a la orilla del mar como se observa en la figura 18.



Figura 18 Mercado donde los pescadores que dejaban el pescado al borde del mar. Fuente: Archivo de Matosinhos

La consolidación del automóvil como medio de transporte indujo, a finales del siglo XX y principios del XXI, la aparición de nuevas centralidades apoyadas en otras prácticas de consumo y de ocio concentradas en los centros comerciales, los cuales configuraron nuevas morfologías del territorio, con un modelo difuso, en donde conviven - en el caso de Matosinhos- un centro duro del Área Metropolitana de Porto AMP y unas periferias

con grandes redes comerciales y barrios autónomos apoyados con las nuevas prácticas de movilidad individual (Zilhão, 2009, 246). Entre los instrumentos formulados a mediados del siglo XX se destaca el Plano Regulador de Garret de 1952, como se aprecia en la Figura 19

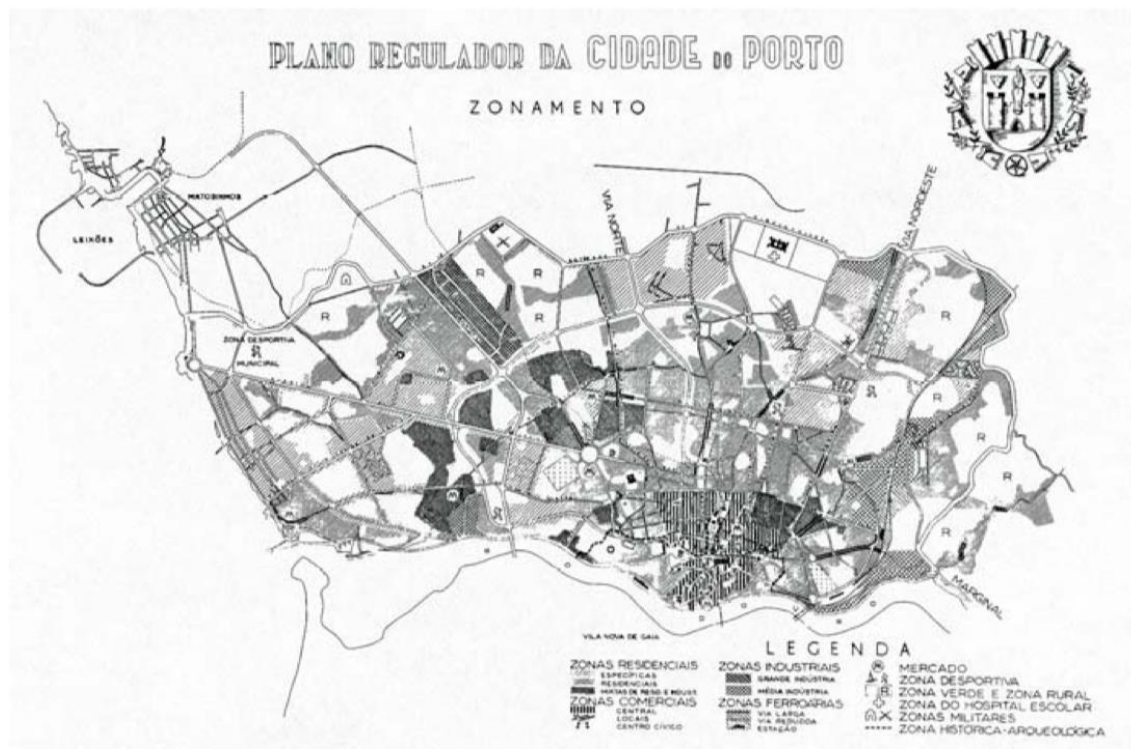


Figura 19 Plano de zonificación del Plan Regulador de Oporto. fuente Garret 1952. Fuente: Dialnet-Formación Evolución e Centro Oporto.

El Ayuntamiento de Matosinhos es un órgano de administración local del municipio. Su misión es definir e implementar políticas que promuevan el desarrollo del Concelho en diferentes áreas. El CMM brinda diversos servicios como emisión de licencias, información, avisos, documentos financieros, servicios sociales, policía municipal, protección civil, entre otros. Los municipios tienen atribuciones en los dominios de la acción social; ambiental; comunicaciones; cooperación externa; cultura y ciencia; protección de consumidores; deporte; educación; energía; equipamiento rural y urbano; alojamiento; planificación espacial y urbanismo; patrimonio; promoción del desarrollo; saneamiento; salud; tiempos libres; transporte (Câmara municipal de Matosinhos, 2015)

El Municipio de Matosinhos y sus servicios tienen como misión la prestación de un servicio público de calidad, basado en la planificación, coordinación y gestión eficiente de los recursos municipales, y, en el principio de participación activa de los ciudadanos, orientado al desarrollo económico y social, a la mejora de la calidad de vida y seguridad de los habitantes que viven, estudian y trabajan en el municipio, para el desarrollo coherente y equilibrado del territorio, para la conservación del patrimonio histórico y ambiental, y, para la prosperidad sostenida a largo plazo(CMM, 2022).

Las competencias del Ayuntamiento están recogidas en la Ley de Entidades Locales (Ley nº 75 de 12 de septiembre de 2013), que establece el régimen jurídico de las Entidades Locales, aprueba el estatuto de las entidades intermunicipales, establece el régimen jurídico de las transferencias de competencias del Estado para los entes locales y para las entidades intermunicipales y aprueba el régimen jurídico de las asociaciones municipales (DRE, 2013).

En el Nuevo Plan Director Municipal (2019), el cual lleva una revisión de 25 años del proceso de planeamiento, busca consolidar el puerto como una centralidad especializada productiva regional, exportadora de industria y tecnología y economía del mar bajo un desarrollo sustentable.

Según su director L. Barrantes, se buscó cuidar el crecimiento excesivo de los perímetros urbanos; se pretende un desarrollo resiliente de cohesión territorial y flexibilidad teniendo en cuenta utilidades y funciones del paisaje (Barrantes , 2019).

El nuevo plan propone una nueva política de suelos, de ordenamiento del territorio y del urbanismo partiendo del principio de un “modelo coherente” de ordenamiento del territorio para asegurar la cohesión territorial y la correcta clasificación del suelo. Se busca corregir la transformación excesiva y arbitraria del suelo rural en suelo urbano. En cuanto a cualificación del suelo se mantiene en lo esencial el Plan de Desarrollo Municipal del año 1992, en este sentido, se cualifica y se hace más flexible la utilización

del suelo con base en las unidades de paisaje, las densidades y las actividades, así como aptitudes y límites intrínsecos de la condición urbana existente.

Se fijan los índices máximos de densidad constructiva, de actividades económicas y se tiene como un nuevo parámetro el índice máximo de impermeabilización, cuya aplicación irá a promover la infiltración natural de las aguas lluvias para prevenir las inundaciones urbanas.

El PDM 2019 plantea un Fondo Municipal de Sustentabilidad Ambiental y Urbanística (FMSAU) el cual busca redistribuir las plusvalías y otras formulaciones urbanísticas, para promover la rehabilitación urbana y sustentabilidad de los ecosistemas y la prestación de los servicios ambientales para promover la creación, manutención y refuerzo de las infraestructuras y equipamientos y áreas de uso público. Entre los objetivos de este fondo se encuentra la operacionalización de procesos de desenglobe para el apoyo del programa integral PDM, la disponibilidad del suelo urbano y el fomento de la operación de salvaguarda y valorización ambiental de implantación de espacios verdes públicos y recorridos de modos activos. Con los objetivos de este fondo es posible promover dos condiciones importantes para el manejo de las inundaciones: el mantenimiento y refuerzo de infraestructuras, y la implantación de espacios verdes que coadyuvan la infiltración.

Matosinhos, en el área metropolitana de Porto, se encuentra en una fase de desarrollo cultural y turístico importante. Se puede catalogar como el área urbana que ha tenido una evolución mayor dentro de las variables relacionadas con la cultura y el turismo de Portugal (Miramontes Carballada & Sá Marques, 2016, 57). Esa condición está relacionada con la infraestructura de comunicaciones, en particular la actividad del puerto de Leixões, en términos del manejo de un importante volumen de mercancía y la gran cantidad de cruceros para la industria turística. El puerto de Leixões representa el 25% del comercio internacional portugués y mueve cerca de 14 millones de toneladas

de mercancía por año, Leixões, como ya se había afirmado, es uno de los puertos más competitivos y polivalentes del país (Alves, 2003, 248)

En gran medida, gracias a contar con la actividad del aeropuerto Sá Carneiro, localizado en el vecino municipio de Maia, Matosinhos se conforma como nodo de conexiones nacionales e internacionales (Miramontes Carballada & Vieira de Sá Marques, 2016, 57).

Las actividades de turismo y la cultura, particularmente aquellas que se localizan en los espacios urbanos abiertos, se ven afectadas por las inundaciones urbanas.

3.3 Las inundaciones en Matosinhos y el Ordenamiento del Territorio

Las inundaciones se han agravado con el paso del tiempo; pues son fenómenos naturales que no pueden evitarse; no obstante, con una acertada planificación territorial y el diseño de proyectos pertinentes se pueden controlar. Por tal motivo se aprobó el 23 de octubre de 2007, la Directiva 2007/60/CE del Parlamento europeo y el Consejo relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación (Gonçalves, 2014, 1858). Vulgarmente designada como Directiva de Inundaciones. Se destina a la reducción de consecuencias negativas para la salud humana, el medio ambiente, el patrimonio cultural y la actividad económica, asociadas a las inundaciones en la Comunidad Europea (Directiva 2007/60/ce Del Parlamento Europeo Y Del Consejo, 2007).

La Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, impone la elaboración de planes de gestión de cuenca fluvial para cada demarcación hidrográfica con objeto de conseguir un buen estado químico y ecológico, y contribuirá a mitigar los efectos de las inundaciones ("Directiva 2007/60/ce Del Parlamento Europeo Y Del Consejo," 2007).

Este acto legislativo permite establecer objetivos para toda la unión europea para ser cumplidos y ordenadas con sus respectivas metas; empero, cada país es obligado a elaborar sus propias leyes sobre cómo alcanzar esos objetivos. Debido a esto, Portugal establece el decreto-Ley N° 115/2010 en donde determina y aprueba la evaluación y

gestión del riesgo de inundaciones en cada región hidrográfica o en cada unidad de gestión (Decreto-Lei n.º 115/2010).

En términos legales, según el decreto-Ley N° 115/2010, las inundaciones son el cubrimiento temporal por agua de una porción de terreno fuera del cauce normal, como consecuencia de inundaciones provocadas por fenómenos naturales tales como precipitaciones, aumento del caudal de ríos, torrentes de montaña y cursos de agua efímeros correspondientes a crecidas de ríos, o crecidas del mar niveles en zonas costeras (Decreto-Lei N° 115, 2010).

Los eventos de inundaciones urbanas pueden tener múltiples causas, como la falta de infraestructuras de drenaje adecuadas, el crecimiento urbano, la impermeabilización del suelo debido a la urbanización y el cambio climático. La falta de planificación urbana adecuada y la construcción descontrolada, contribuyó a la falta de sistemas de infraestructuras de drenaje suficientes y adecuados para hacer frente a sucesos de lluvias intensas.

3.3.1 Cronología de Sucesos de Inundación en Matosinhos

La cronología de sucesos de inundación se extrae de dos fuentes diferentes: las noticias en prensa registrados en los diferentes diarios y la información de puntos de inundación registrados en la Cámara Municipal de Matosinhos de Protección civil.

INUNDACIONES EN MATOSINHOS (SEGÚN NOTICIAS EN PRENSA) (Ver anexo 1)

En la prensa local se registraron casos de inundación entre 2008 y 2022. Hay noticias de los años: 2008 (2 casos), 2011 (2 casos), 2013 (1 caso), 2015(1 caso), 2016 (2 casos), 2019 (3 casos), 2020 (1 caso), 2021 (1 caso), 2022 (3 casos). En el periodo revisado hay un total de 16 registros. La información es reiterada y corresponde a los meses de enero, marzo, septiembre, octubre, noviembre y diciembre. No hay registros de inundaciones en los meses de febrero, abril, mayo, junio, julio y agosto.

INUNDACIONES URBANAS MATOSINHOS (Protección Civil)

De la Cámara Municipal de Matosinhos se obtuvo un registro con 545 puntos. Estos registros responden a las veces que se ha informado sobre una inundación por parte de los habitantes al grupo de Protección Civil (bomberos). Se registran tanto las inundaciones por lluvia como por marea. Para este estudio se recopilaron las inundaciones por lluvias durante los años 1980 al 2022 y para el trabajo de campo se trabajó con las inundaciones registradas desde 1990 a 2022, esto porque los registros anteriores a 1990 no contaban con las variables utilizadas en los diferentes análisis aquí elaborados. Ver Figura 20 Mapa con registros de puntos de inundación.

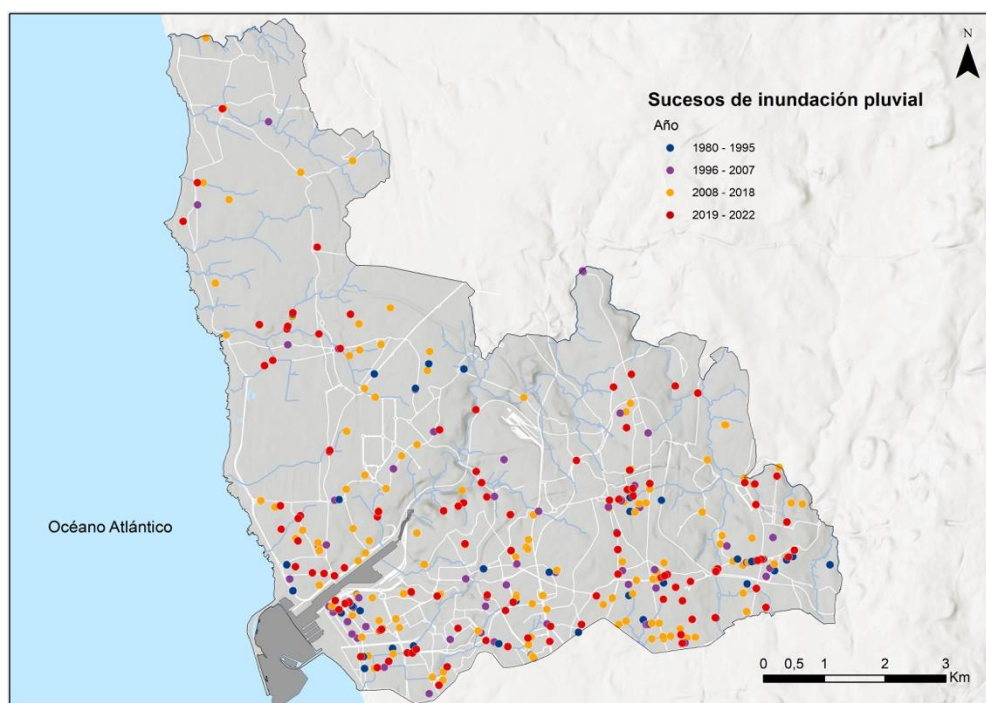


Figura 20 Mapa con registros de puntos de inundación. Fuente de datos: CMM 2022

3.3.2 Inundaciones en Matosinhos y el Ordenamiento del Territorio

Los instrumentos de planeamiento y gestión territorial de la “nueva generación” deben garantizar la correcta utilización de recursos territoriales, protegiendo los derechos a la seguridad de la población a través de recursos de la prevención y mitigación de los riesgos.

Al contrario de lo que sucede en algunos países de la Unión Europea, la legislación y la práctica de Ordenamiento del territorio en Portugal no se consideró debidamente la prevención de los riesgos naturales hasta la última década (Zêzere, 2007, 537). Esto sucedió debido a la falta de coordinación transversal entre las políticas de protección civil y las del ordenamiento del territorio y urbanismo.

El centro económico de Matosinhos es el puerto, por lo tanto, el crecimiento se da en alturas hasta los 30 msnm, los nuevos desarrollos se presentan disperso especialmente en su relación con la ciudad de Porto en donde las alturas alcanzan los 140 msnm, sin embargo, las inundaciones reportadas se encuentran a lo largo y ancho de áreas urbanas, por lo cual no solo es necesario revisar temas topográficos sino también variables referidas al diseño de los drenajes y de aquellos elementos que permiten el manejo de las aguas lluvias en las áreas urbanas así como la relación entre áreas permeables e impermeables. No se logró obtener información del diseño del drenaje. Esta situación se ejemplifica en el plano de Factores condicionantes de Susceptibilidad frente al Riesgo de inundación de la Figura 21.

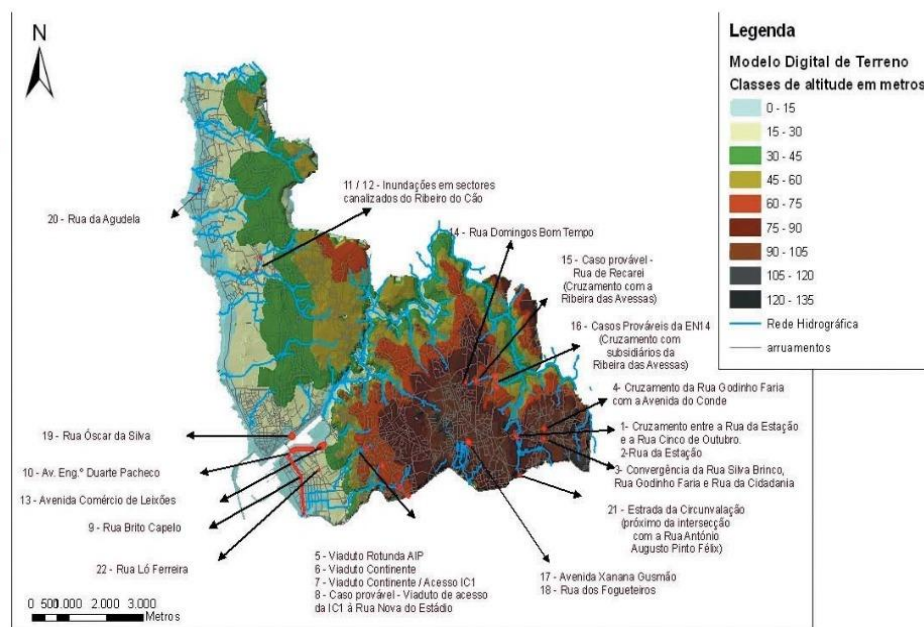


Figura 21 Diagnóstico de factores que condicionan la susceptibilidad al riesgo de inundaciones urbanas en el municipio de Matosinhos. A. Pedrosa 2006

En general, Matosinhos creció, como ya se ha mencionado, a lo largo de los caminos que conducían al puerto y a la ciudad amurallada, ese crecimiento se dió de manera discontinua, lo que hoy puede leerse como un crecimiento disperso con centralidades que hoy se comunican con medios de transporte privado y público. El ordenamiento del territorio en Matosinhos también se condiciona por la actividad industrial portuaria, lo que ha dado origen a actividades que requieren de grandes predios, lo cual influye en la relación entre lo urbano y lo rural (Beja Inglez de Souza & Tavares, 2020, 9). Esta condición del ordenamiento afecta el diseño de los drenajes y lo condiciona a redes que se entrelazan por vías trazadas sobre caminos antiguos, en donde pervive la relación entre el suelo urbano y el suelo rural; también se mantienen grandes predios de infraestructuras y usos industriales

4. METODOLOGÍA

La metodología de este estudio se basa en diferentes procesos, incluyendo técnicas de análisis espacial y estadístico. Se utilizaron herramientas de sistemas de información geográfica (SIG) y datos tanto espaciales como alfanuméricos de fuentes secundarias. Además, se llevó a cabo trabajo de campo específicamente en los casos de estudio seleccionados. La figura 22 presenta el esquema de las etapas y procesos desarrollados.

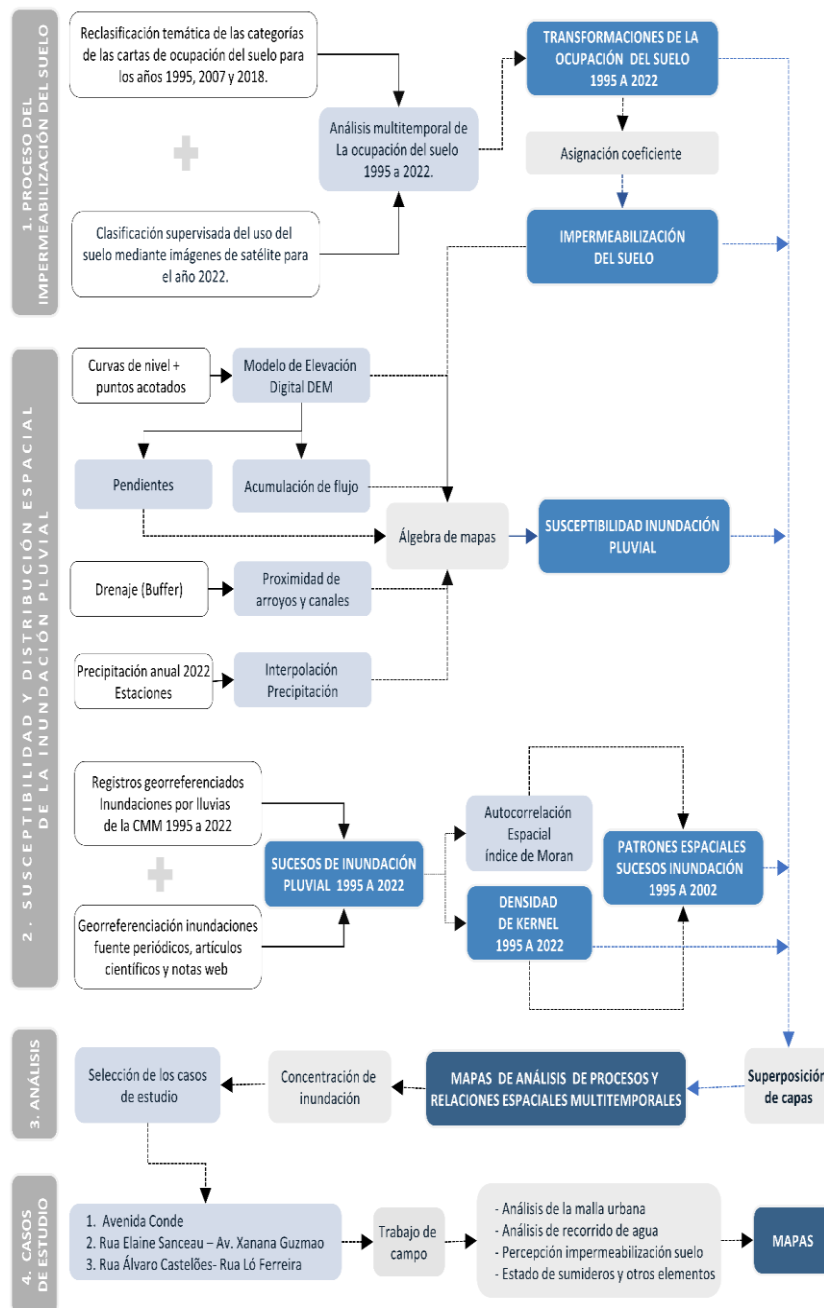


Figura 22 Esquema metodológico. Fuente: Adaptado y Mejorado a partir de Marafuz 2023

En la primera fase del estudio, se llevó a cabo un análisis de las transformaciones en la ocupación del suelo en Matosinhos entre 1995 y 2022. El objetivo de este análisis fue comprender el impacto de los cambios en la ocupación del suelo en el proceso de impermeabilización de Matosinhos. Para ello, se calculó un índice que mide la cantidad de suelo impermeabilizado.

En la segunda etapa, se analizó la susceptibilidad a inundaciones en Matosinhos. Para ello, se utilizaron dos enfoques complementarios: la georreferenciación de eventos de inundación causados por lluvias y un análisis multicriterio basado en variables como la topografía, la impermeabilización del suelo y el clima. El objetivo de este análisis fue comprender la distribución y los patrones espaciales de las inundaciones en el área de estudio.

En la tercera, se realizó una superposición temática de mapas utilizando los productos obtenidos en las fases anteriores. Los resultados de este análisis permitieron identificar las relaciones entre las variables clave y lograr una comprensión más profunda del proceso de impermeabilización en Matosinhos, así como su vínculo con las inundaciones pluviales.

En la cuarta etapa, se seleccionaron tres estudios de caso para proporcionar una perspectiva más detallada de la inundación pluvial de Matosinhos, especialmente aquellas relaciones con otros elementos de la infraestructura urbana que no fueron abordados en las etapas anteriores debido a la disponibilidad y escala de la información, tales como las vías y el sistema de drenaje pluvial. Para ello, se llevaron a cabo visitas de campo y se recopiló información relacionada con la disposición de la red urbana, el seguimiento de los flujos de agua y la localización de los sumideros.

Los detalles sobre las fuentes de información, el cálculo de índices, las fórmulas matemáticas y otros aspectos técnicos se explicarán de manera detallada en las siguientes secciones.

4.1 Análisis de las transformaciones de la ocupación del suelo y su impacto en el proceso de Impermeabilización del Suelo.

Las transformaciones en la ocupación del suelo, como la pérdida de tierras agrícolas, la deforestación y el aumento de la urbanización, conducen a procesos que disminuyen la capacidad de absorción y retención de agua debido al cambio de superficies permeables a superficies selladas, como pavimentos y construcciones. Esta reducción en la capacidad del suelo para infiltrar eficazmente el agua provoca la escorrentía y aumenta el riesgo de inundaciones.

Durante esta etapa, se llevó a cabo la identificación y descripción de las transformaciones en la ocupación del suelo en Matosinhos durante el período comprendido entre 1995 y 2022, con un enfoque particular en el crecimiento urbano o áreas artificiales. El principal propósito fue comprender cómo esta evolución influyó en el proceso de impermeabilización del suelo. Asimismo, se procedió al cálculo del índice de impermeabilización siguiendo la metodología propuesta por (Marafuz, 2011).

Los datos utilizados para construir el análisis multitemporal de la transformación del suelo se obtuvieron de dos fuentes principales. En primer lugar, se utilizaron las cartas de ocupación del suelo proporcionadas por la Direção-Geral do Território correspondientes a los años 1995, 2007 y 2018. Para el año 2022, se obtuvieron datos adicionales a través de una clasificación supervisada de una imagen satelital en el estándar Vivid, accesible a través del portal de ESRI. Estas imágenes, suministradas por Maxar, datan de julio de 2022 y presentan una resolución de 0,5 centímetros.

Luego, se procedió a realizar una reclasificación temática de las categorías de ocupación del suelo que estaban presentes tanto en las cartas de ocupación del suelo como en la clasificación supervisada de la imagen de satélite de 2022. El propósito de esta reclasificación era consolidar, simplificar y unificar la información en solo cuatro grupos principales de categorías, que fueran al mismo tiempo más abarcadores y representativos. Estas categorías incluyeron:

- Áreas Artificiales (Áreas Urbanas)
- Áreas Agrícolas (Cultivos y Pastizales)
- Áreas Forestales
- Áreas Seminaturales

Una vez obtenidas las capas de ocupación del suelo reclasificadas para cada año, se llevó a cabo un análisis multitemporal para evaluar las transformaciones en la ocupación del suelo. Se emplearon las herramientas "Comparación de Cambios Multitemporales" y "Diferencia Simétrica" de ArcGIS, lo que permitió identificar las áreas de expansión y detectar lugares con modificaciones significativas en las categorías de uso del suelo.

Posteriormente, se confeccionaron tablas de análisis que detallan las extensiones en hectáreas de cada categoría de ocupación del suelo, acompañadas de los respectivos porcentajes que esas categorías representaban en Matosinhos para cada año. Se realizaron cálculos de porcentajes de cambio y transformación de usos con el fin de explorar tendencias y entender qué categorías de ocupación del suelo experimentaron modificaciones a lo largo del período de estudio. Estos cálculos se basaron en análisis de variaciones porcentuales (VP), utilizando la siguiente fórmula:

$$VP = \text{Crecimiento/Disminución porcentual} = \frac{\text{Valor inicial} - \text{Valor final}}{\text{Valor inicial}} * 100$$

Los resultados de estos análisis se plasmaron en mapas temáticos y gráficos para proporcionar una visualización más nítida y efectiva de la evolución de la ocupación del suelo en Matosinhos durante el período comprendido entre 1995 y 2022.

Finalizado el análisis multitemporal de la ocupación del suelo desde 1995 hasta 2022, se procedió a llevar a cabo el cálculo del índice de impermeabilización (Iimp). Este cálculo se realizó siguiendo la metodología propuesta por Marafuz (2011), basada en el enfoque de la Dirección General de Ordenación del Territorio y Desarrollo Urbano (DGOTDU). Este índice fue empleado para evaluar la modificación en la permeabilidad del suelo

debido a la ocupación o revestimiento, sin considerar la permeabilidad original del suelo.

El índice de impermeabilización del suelo ($limp$) se definió como una función de la ocupación del suelo o el revestimiento y se calculó mediante la relación entre la suma de las áreas impermeabilizadas equivalentes ($\sum A_{imp}$) y el área total de suelo (A_s) a la que se refiere el índice, expresado en porcentaje. La fórmula correspondiente se expresó como:

$$limp = \left(\frac{\sum A_{imp}}{A_s} \right) * 100$$

Cada área impermeabilizada equivalente (A_{imp}) se calculó multiplicando el área de suelo (A_s) a la que se refiere por el coeficiente de impermeabilización (C_{imp}) correspondiente al tipo de ocupación del suelo o revestimiento que se ha realizado o previsto en esa área. La fórmula para calcular A_{imp} se expresó como:

$$A_{imp} = C_{imp} \times A_s$$

El coeficiente de impermeabilidad (C_{imp}) varía en un rango de 0 a 1. En consecuencia, se asignaron valores de referencia de acuerdo con el tipo de ocupación del suelo. En términos generales, se asignó un valor de C_{imp} igual a 1 a los suelos que son completamente impermeables, es decir que tienen nulo potencial de infiltración, como en las áreas urbanas, un valor de C_{imp} igual a 0.5 a los suelos con cobertura semipermeable, y un valor de 0 a los suelos naturales.

Considerando estas referencias, se determinaron los siguientes coeficientes como se ve en la tabla 2 de impermeabilidad (C_{imp}):

Tabla 2 Coeficientes de Impermeabilidad por categorías de ocupación del suelo. Fuente: elaboración propia 2023.

Categoría	Subcategorías	Cimp	Año 1995		Año 2007		Año 2018		Año 2023	
			As (Ha)	Aimp	As (Ha)	Aimp	As (Ha)	Aimp	As (Ha)	Aimp
Agrícolas	Agricultura con espacios naturales y seminaturales	0,3	69	21	33	10	31	9	15	4
	Agricultura y viveros protegidos	0,6	0	0	4	2	3	2	4	2
	Áreas agrícolas heterogéneas y Cultivos temporales	0,4	1.718	687	1.488	595	1.407	563	1.263	505
Artificiales	Espacios verdes artificiales	0,5	0	0	65	32	69	34	282	141
	Tejido urbano, equipamiento, transporte, comercio, industria	1	3.138	3.138	3.516	3.516	3.672	3.672	3.835	3.835
Forestales	Bosques	0	874	0	755	0	709	0	566	0
Seminaturales	Áreas seminaturales con vegetación y pastos	0,2	256	51	201	40	177	35	101	20
	Espacios descubiertos y/o con poca vegetación	0,8	6,4	5,17	7,83	6,26	6,57	5,26	6,57	5,25
	Playas, dunas y arenas costeras	0	118	0	113	0	110	0	110	0
Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	0	63	0	60	0	59	0	59	0
Total As			6.242	3.901	6.242	4.202	6.242	4.320	6.242	4.514
Cimp: coeficiente de impermeabilización As: área del suelo en hectáreas Aimp: área impermeabilizada equivalente en hectáreas										

Una vez construido el índice se representó en mapas y gráficos que ilustran cómo ha evolucionado el índice de impermeabilidad del suelo en Matosinhos durante 1995 a 2022.

4.2 Análisis De La Susceptibilidad Las Inundaciones Pluviales Y Su Distribución Espacial En Matosinhos.

En la segunda etapa de la metodología, el enfoque principal se centró en comprender el comportamiento espacial y la susceptibilidad a inundaciones pluviales en Matosinhos durante el período comprendido entre 1995 y 2022. Esta fase se dividió en dos análisis complementarios, cuyos detalles se esbozaron en la Figura 22 del Esquema Metodológico.

En un primer paso, se procedió a la georreferenciación de los eventos de inundación en Matosinhos. Este proceso resultó esencial para obtener una comprensión completa de

la distribución geográfica de dichos sucesos. Posteriormente, se aplicó el índice de Moran para conocer el patrón espacial de los sucesos

En un segundo análisis, el enfoque se dirigió hacia la evaluación de la susceptibilidad a inundaciones en Matosinhos mediante un enfoque multicriterio. A continuación, se proporciona una descripción detallada de las fuentes de información utilizadas en este proceso y de los métodos específicos aplicados.

GEORREFERENCIACIÓN DE LOS SUCECOS DE INUNDACIÓN PLUVIAL EN MATOSINHOS DESDE 1995 a 2022 Y ANÁLISIS DE LOS PATRONES ESPACIALES.

Para la georreferenciación de los eventos de inundación pluvial en Matosinhos se emplearon dos fuentes de información secundaria. La primera fuente, fue la Cámara Municipal de Matosinhos, encargada del registro oficial de inundaciones desde 1980. Cada registro representa las notificaciones de inundaciones por parte de los residentes al grupo de Protección Civil (bomberos). Este registro cuenta con 545 puntos donde se clasifican las inundaciones por marea y por lluvia. Para este estudio, se seleccionaron específicamente los registros relacionados con inundaciones causadas por lluvias durante los años incluidos en el marco temporal de la investigación, que abarca desde 1995 hasta 2002.

La segunda fuente de datos consistió en noticias de periódicos, artículos científicos y noticias en línea acerca de inundaciones pluviales en Matosinhos, las cuales fueron georreferenciadas. Posteriormente, estas dos fuentes de datos se fusionaron en una única capa para el análisis.

Una vez construida la capa de sucesos de inundación pluvial, se analizó la distribución espacial de los eventos de inundación y se representaron gráficamente los datos de precipitación anual de cada año. El objetivo de este análisis fue identificar la relación entre los eventos de inundación y el aumento en la precipitación en Matosinhos.

Para abordar el análisis de los patrones espaciales de los sucesos de inundación, se emplearon el Índice de Moran A continuación, se presenta una explicación detallada de estos métodos.

- Índice de Moran

El índice de Moran I Global es una herramienta estadística que mide la autocorrelación espacial de datos geográficos, considerando tanto la ubicación de las características como sus valores. La herramienta evalúa si los patrones espaciales de un conjunto de datos son agrupados, dispersos o aleatorios. El índice de Moran I, calcula un valor z y un valor p para evaluar la significancia estadística del índice. Los valores p indican si los patrones observados son resultado del azar o si hay una autocorrelación espacial significativa.

La fórmula matemática del índice de Moran es la siguiente:

$$I = \frac{n}{W} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Donde:

n es el número de unidades geográficas (puntos).

W es la suma de los pesos espaciales.

x_i y x_j son los valores en las unidades geográficas i y j.

$\bar{x}$ es la media de los valores en todas las unidades geográficas.

w_{ij} es el peso entre las unidades i y j, reflejando la relación espacial entre ellas.

Como se observa el índice se calcula restando la media de los valores de las características de cada ubicación y multiplicando las desviaciones por los valores de las ubicaciones vecinas. Si los valores vecinos son similares o diferentes en comparación con la media, el producto cruzado será positivo o negativo, respectivamente. Un índice positivo indica agrupación espacial, mientras que un índice negativo sugiere dispersión espacial. Si los productos cruzados positivos y negativos se equilibran, el índice se acerca a cero.

Cuando el valor p es significativo, se puede rechazar la hipótesis nula de distribución espacial aleatoria. Si el valor z es positivo, indica una mayor agrupación de valores de características de lo esperado al azar, y si es negativo, señala una dispersión mayor de valores. La interpretación depende de la comparación entre el índice observado y el índice esperado, dentro del contexto de la hipótesis nula.

El cálculo del índice se llevó a cabo con la asistencia del programa ArcGIS y fue calculado para todos los eventos de inundación en Matosinhos durante el período de 1995 a 2022.

ANÁLISIS DE LA SUSCEPTIBILIDAD DE INUNDACIÓN EN MATOSINHOS

La susceptibilidad a inundaciones es una medida de la probabilidad de que un área determinada se inunde. Esta probabilidad se ve influenciada por varios factores, entre los que se encuentran la topografía, la cobertura y ocupación del suelo, y el clima.

En general, las áreas con pendientes pronunciadas, suelos impermeables, mucha impermeabilización, poca vegetación o precipitaciones frecuentes o intensas son más susceptibles a inundaciones.

Para Matosinhos, se utilizó un análisis multicriterio para elaborar un mapa de susceptibilidad de inundación. El análisis multicriterio es una técnica que permite evaluar un área geográfica en función de varios criterios. Cada criterio se asigna un peso en función de su importancia relativa. Los pesos pueden asignarse subjetivamente o utilizando métodos cuantitativos. Una vez que se han asignado los pesos, se calcula un índice para cada área geográfica.

El índice representa la importancia relativa de la zona en función de los criterios considerados.

$$I = \sum(w_i * v_i)$$

Donde:

I es el índice de la zona geográfica

w_i es el peso del criterio i

v_i es el valor del criterio i para la zona geográfica

En el caso de Matosinhos se utilizaron seis variables Tabla 3: el modelo de elevación digital (DEM), la pendiente, el índice de impermeabilidad (calculado en la etapa anterior), la precipitación, la acumulación de flujo y la proximidad de arroyos y canales. Las fuentes de información y los procesos metodológicos de construcción para cada variable se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 3 Variables del análisis multicriterio. fuente: Tehrany 2014 et,al.

Variable	Fuente de Información	Proceso Metodológico
Modelo de elevación digital (DEM).	Curvas de nivel cada 5 metros y puntos acotados de CMM.	Se utilizó la herramienta de " <i>Interpolation</i> " para crear el DEM y luego se corrigió con la herramienta " <i>Fill Sinks</i> ". Se clasificó en 5 categorías utilizando el método de cortes naturales.
Pendientes.	Modelo de elevación digital (DEM)	Se utilizó la herramienta "Sople" para crear un ráster de pendientes que se clasificó en 5 categorías utilizando el método de cortes naturales.
Acumulación de flujo.	Modelo de elevación digital (DEM)	La acumulación de flujo es un proceso que se utiliza para determinar la cantidad de agua que fluye a través de una celda en un DEM. Se utilizó la herramienta " <i>Flow direction</i> " para generar un ráster. El umbral se estableció en el 1% de la acumulación máxima de flujo. Para Matosinhos, la acumulación máxima de flujo fue de 144,7. Por lo tanto, se trabajó con un umbral de 14,47.
Proximidad de arroyos y canales.	Capa de ríos y canales del CMM	Se calculó la distancia euclidiana de los ríos y canales. Se asignaron valores mayores a las distancias más cercanas.
Precipitación.	Datos de precipitación anual de las estaciones meteorológicas de SNIRH (2023)	Se utilizó la herramienta " <i>Interpolation</i> " para generar un ráster de precipitación total anual. Se clasificó en 5 categorías utilizando el método de cortes naturales.
Índice de Impermeabilización	Explicado en la etapa 1 de la metodología	Se reclasificó en cinco categorías, asignando un valor más alto a las superficies con mayor impermeabilidad.

Los pesos de las variables del análisis multicriterio se asignaron de acuerdo con la literatura disponible (Salar Cabrera & So Lee, 2019; Shafapour Tehrany 2014; Chen, 2022) y el método de escala de comparación de Saaty (1990). Este método se basa en la idea de que la importancia relativa de un criterio se puede determinar comparando ese criterio con todos los demás criterios.

Una vez asignados los pesos, se evaluó la coherencia de estos mediante el índice de consistencia. Un índice de consistencia inferior a 0,1 se considera aceptable. En este caso, el índice de consistencia fue de 0,08, por lo que los resultados son aceptables.

De esta forma los porcentajes asignados para cada variable fueron:

Tabla 4 porcentaje asignados a las variables del análisis multicriterio. Fuente: Tehrany 2014 et,al. Mejorado y adaptado.

Variable	Porcentaje Asignado Analisis Multicriterio
Modelo de elevación digital (DEM)	15%
Pendientes	20%
Acumulación de flujo	25%
Proximidad de arroyos y canales	10%
Precipitación	10%
Ocupación del suelo	20%

Para la creación del mapa de susceptibilidad de inundación con las variables ya ponderadas se usó la herramienta de peso y combinación “*Weighted Sum*” del programa ArcGIS.

4.3 Análisis de Mapas

La tercera etapa de la metodología consistió en la superposición temática de los productos obtenidos en las fases anteriores, es decir, el análisis multitemporal de las transformaciones del suelo, el índice de impermeabilización del suelo, la susceptibilidad a la inundación, los sucesos de inundación. El propósito de este análisis fue visualizar, comparar y analizar las relaciones espaciales entre las variables con el objetivo de lograr una comprensión más profunda del proceso de impermeabilización en Matosinhos, así como su vínculo con las inundaciones pluviales.

Para llevar a cabo esta superposición, se utilizó el programa ArcGIS. Se crearon mapas temáticos de cada variable, y luego se superpusieron para crear un mapa que mostraba las relaciones espaciales entre las variables.

4.4 Análisis De Estudios De Caso Con Trabajo De Campo

El propósito del análisis de estudios de casos fue proporcionar una perspectiva más detallada del proceso de inundación en Matosinhos, especialmente explorar aquellas relaciones que no fueron abordadas en las etapas anteriores (debido a la disponibilidad y escala de la información) como los elementos de la infraestructura urbana, como la malla vial y el sistema de drenaje pluvial, que influyen en y forman parte de la complejidad de las inundaciones.

El análisis de estudios de casos permitió identificar cómo estos elementos interactúan entre sí y con el entorno natural, dando lugar a un sistema complejo y dinámico. Por ejemplo, las vías con una pendiente pronunciada pueden contribuir a las inundaciones al acelerar el flujo de agua o que un sistema de drenaje pluvial puede ser insuficiente para evacuar el agua de lluvia en áreas con un alto nivel de impermeabilización.

Estas relaciones pueden ayudar a comprender mejor las causas de las inundaciones en Matosinhos y a desarrollar estrategias de mitigación más efectivas

Para la selección de los estudios de caso, primero se procedió a identificar, a partir de los mapas creados en las secciones anteriores, los lugares con mayor concentración de eventos de inundación. Al ampliar la escala de las áreas de concentración, se observó que la alta frecuencia de sucesos ocurre con mayor frecuencia en zonas urbanas y sobre la infraestructura vial, como avenidas, puentes y rotondas.

En las zonas urbanas, se destacaron las inundaciones en el inicio del puente de la Rua Gonçalves Zarco, en algunas rotondas de la Estradas de Circunvalação, en algunas agrupaciones de viviendas como la urbanización Antonio Sergio, y en las calles en torno

al Centro Comercial North Shopping y la Autostrada A 28, además de La Avenida Conde, la Rua Elaine Sanceau y la continuación de la Avenida Xanana Gusmão.

De estos lugares, se seleccionaron tres con mayores eventos y que presentaran diferentes tipos de morfologías urbanas, categorías viales y la localización y tipo de sumideros y bajantes. Los estudios de caso seleccionados fueron:

- Estudio de caso 1, la calle Avenida Conde.
- Estudio de caso 2, la Rua Elaine Sanceau y prolongación de la Avenida Xanana Guzman.
- Estudio de caso 3, la Rua Alvaro Casteloes y la Rua Ló Ferreira.

En la Figura 23 se presenta la localización de los estudios de caso.

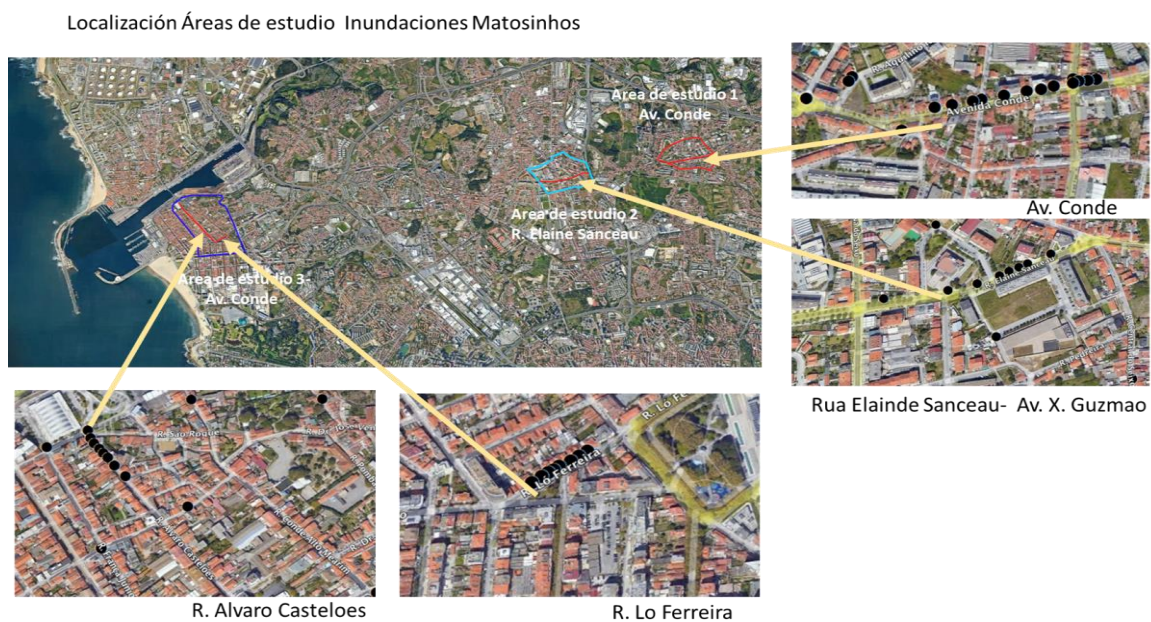


Figura 23 Áreas de estudio de caso de Inundaciones en Matosinhos. Fuente de datos: Google Earth. Y CMM2023

Es importante resaltar que para el análisis de los estudios de caso se requirió de una escala mayor, es decir, más detallada. Por ello, se utilizó el programa Google Earth y su catálogo de imágenes satélites en combinación con un ortofotomapa de alta resolución de 25 cm correspondiente a la zona norte de Portugal continental con resolución espacial de 0,30 metros de la DGT 2021.

Para delimitar las áreas de los estudios de caso se partió de la infraestructura vial afectada y un área de influencia que fue calculada según la densidad de eventos de sucesos de inundación

Para el primer estudio de caso, la Avenida Conde, se delimitó un área de influencia de 25,9 hectáreas localizada en el noroccidente del municipio de Matosinhos, en la freguesia de São Mamede de Infesta e Senhora da Hora.

Para el segundo estudio de caso, la Rua Elaine Sanceau, el área de influencia fue 31,6 hectáreas, localizada entre las freguesias de São Mamede de Infesta e Senhora da Hora y Custóias, Leça do Balio e Guifões.

Finalmente, para el tercer estudio de caso, la Rua Álvaro Casteloes y la Rua Ló Ferreira el área de influencia fue de 55,6 hectáreas localizada en la zona más antigua de Matosinhos, cerca del puerto, en la freguesia de Matosinhos e Leça da Palmeira.

Una vez seleccionadas las áreas de los estudios de caso, se elaboró trabajo de campo con el propósito de analizar las siguientes variables:

Malla Urbana

El análisis de la malla urbana es una parte fundamental en la planificación y diseño de áreas urbanas porque proporciona información sobre la conectividad vial, la accesibilidad, la densidad, la distribución y ocupación del suelo y otros aspectos clave de la estructura urbana. En campo se identificaron las formas de ocupación de las construcciones, predios y manzanas y su relación con las construcciones para cada área de estudio. Posteriormente usando Google Earth se dividieron las áreas de estudio en zonas más pequeñas con características similares para comprender mejor las variaciones locales en la malla urbana y así realizar análisis más detallados.

Recorrido de Agua Lluvia

Las vías urbanas y carreteras son particularmente vulnerables a las inundaciones debido a la acumulación de agua en las superficies pavimentadas y a la falta de sistemas de

drenaje adecuados. Para cada estudio de caso, se creó un gráfico del área de influencia correspondiente donde se identificaron los puntos de inundación, los sumideros, los puntos de convergencia, las calles afluentes, las calles efluentes y las calles afluentes-efluentes.

Para identificar los puntos de inundación, se comenzó por localizar los sumideros a lo largo de la vía donde se observaron inundaciones reiteradas. Luego, se trazaron perfiles de elevación para cada una de las vías localizadas dentro del área de estudio, utilizando la herramienta de Google Earth, y se analizaron para determinar la dirección predominante del flujo de agua. En algunos casos, cuando la inclinación de las vías mostraba un encuentro entre ellas, se identificaba un punto de convergencia, el cual podría considerarse para evitar la saturación de los sumideros.

Se crearon mapas de las vías para cada estudio de caso, en donde se asignaron colores diferentes para representar los diferentes tipos inclinación de las vías: En rojo: Las vías con un declive hacia la vía en donde se encuentran los registros de inundación: en naranja, las vías en donde el agua fluía en sentido contrario a los sucesos de inundación: y en azul las vías con un bajo nivel de declive, donde la velocidad del agua es más baja.

Percepción de la Impermeabilización del Suelo

Para llevar a cabo el ejercicio de percepción de la impermeabilización en los casos de estudio, se utilizó el programa Google Earth para digitalizar en formato de polígonos las áreas que representaban las áreas verdes en cada una de las zonas de estudio. Esto permitió obtener una comprensión precisa de la cantidad de suelo impermeable en comparación con las áreas permeables en los casos de estudio.

Finalmente, los resultados de estos análisis se presentaron en formato de mapas, perfiles topográficos y gráficos para cada caso de estudio.

5. RESULTADOS

Las áreas artificiales pueden definirse como superficies que ha experimentado modificaciones significativas debido a la actividad humana, lo que implica la transformación del paisaje natural en superficies selladas, tales como zonas urbanas, comerciales e industriales e infraestructuras.

La expansión de las áreas artificiales ha conllevado importantes impactos ambientales, siendo uno de los más destacados la impermeabilización del suelo. Este proceso implica que el suelo, que normalmente tiene la capacidad natural de absorber y retener agua, se modifica, de manera que reduce su capacidad de infiltración. Es decir, el suelo se vuelve menos permeable a la lluvia y a otras fuentes de agua, lo que provoca que el líquido pluvial no pueda penetrar en el suelo y, en su lugar, corra superficialmente, lo que puede dar lugar a inundaciones en las áreas urbanas.

La aplicación de herramientas SIG ha permitido caracterizar y modelar las relaciones entre susceptibilidades, procesos urbanos, y la reiteración de sucesos de inundación urbanos pluvial. En esos términos iniciamos comparando la cartografía del crecimiento urbano como factor de modificación de la permeabilidad del suelo.

Para comprender el proceso de impermeabilización del suelo en Matosinhos y su correlación con las inundaciones pluviales en las últimas tres décadas, este capítulo se divide en tres secciones:

La primera sección se enfoca en un análisis multitemporal de las transformaciones en la ocupación del suelo, con especial atención al aumento de las áreas artificiales y su influencia en las modificaciones de la impermeabilidad del suelo. Para ello, se calculó un índice de impermeabilización. Este análisis se realizó mediante varios métodos de análisis espacial y fuentes de información secundaria, como las cartas de uso del suelo de Matosinhos correspondientes a los años 1995, 2008 y 2017. Además, se incluyeron datos del año 2022 obtenidos mediante una clasificación supervisada de una imagen

satelital del estándar Vivid disponible en el portal de ESRI. Estas imágenes satelitales, proporcionadas por Maxar, son de julio de 2022 y presentan una resolución de 0,5 centímetros.

La segunda sección, se encamina al análisis de cartografías comparadas que permiten referir la susceptibilidad de inundación. Este análisis es un proceso importante para evaluar y comprender la probabilidad de que ocurran inundaciones en una determinada área. Implica la evaluación de varios factores para determinar qué áreas son más propensas a inundaciones. En este caso se trabajó con 6 variables diferentes.

La tercera sección se enfoca en los sucesos de inundación pluvial ocurridos en Matosinhos entre 1995 y 2022. Para este propósito, se utilizó la georreferenciación proporcionada por la Cámara Municipal de Matosinhos como nuestra principal fuente de datos.

En esta sección, se subdivide en dos partes. En la primera, se examinó la distribución geográfica de los sucesos de inundación pluvial y profundizamos en su análisis de patrones espaciales en Matosinhos. Se utilizó una variedad de métodos de análisis espacial, incluyendo el índice de Moran para comprender mejor la naturaleza y la distribución geográfica de las inundaciones pluviales.

En la segunda parte, se exploró las relaciones espaciales entre los sucesos de inundación pluvial y las transformaciones en la ocupación del suelo que fueron analizados en la sección uno. Para lograrlo, se empleó técnicas de superposición de mapas que permitió identificar de manera general cómo estos factores se correlacionan y pueden contribuir a los eventos de inundación pluvial en la región.

5.1 Análisis de las transformaciones de la ocupación del suelo y su impacto en el proceso de Impermeabilización del Suelo en Matosinhos (1995 a 2002).

Al cuantificar la evolución de la ocupación del suelo en Matosinhos mediante el número de hectáreas (Ha) y el porcentaje (%) de la superficie total por áreas artificiales, agrícolas, forestales y seminaturales en Matosinhos para los años 1995, 2007, 2018 y 2022, se observa un crecimiento significativo de las áreas artificiales. Estas áreas aumentaron de 3,138 hectáreas en 1995 a 4,117 hectáreas en el año 2022, lo que constituye un incremento del 50% al 66% en relación con la extensión total de Matosinhos (Ver Tabla 3).

En contraste, las demás categorías presentan datos decrecientes. Por ejemplo, las áreas agrícolas registraron una disminución del 8% desde 1995 hasta 2022, pasando de 1,787 hectáreas a 1,282 hectáreas. Por otro lado, se observa un proceso de deforestación y conversión de los espacios naturales para otros usos del suelo, ya que las áreas forestales experimentaron una pérdida del 5% en la ocupación total de Matosinhos, disminuyendo de cerca de 874 hectáreas en 1995 a 566 hectáreas en 2022. En cuanto a las áreas seminaturales, se observa una disminución constante, perdiendo aproximadamente un 3% en total. Estas áreas disminuyeron de 381 hectáreas a 218 hectáreas, lo que representa una parte significativa de Matosinhos.

Tabla 3 Ocupación del suelo de Matosinhos 1995 a 2022. Fuente de datos: CMM 2022

Años	Categorías de Ocupación del Suelo							
	Agrícolas		Artificiales		Forestales		Seminaturales	
	Número de Ha	% Superficie total	Número de Ha	% Superficie total	Número de Ha	% Superficie total	Número de Ha	% Superficie total
1995	1.787	29%	3.138	50%	874	14%	381	6%
2007	1.525	24%	3.581	57%	755	12%	322	5%
2018	1.441	23%	3.741	60%	709	11%	293	5%
2022	1.282	21%	4.117	66%	566	9%	218	3%

La información que se presenta en la tabla fue recopilada al crear el Mapa de la Figura 25, en el que se evidencia una transformación en la ocupación del suelo a lo largo del tiempo. Desde 1995, se ha observado cómo ha evolucionado el uso del suelo, pasando de áreas permeables a impermeables. Las zonas agrícolas se representan en amarillo, mientras que las áreas forestales se muestran en verde. Las áreas seminaturales se identifican en naranja, y finalmente, las áreas artificiales se destacan en gris. A simple vista, se puede apreciar que las áreas agrícolas han disminuido en un 10% desde 1995 hasta 2022.

Este aumento de área artificializada, junto con el crecimiento demográfico, está provocando cambios profundos en el paisaje agrícola y seminatural debido al desarrollo industrial. La transformación del entorno urbano de Matosinhos comenzó en el siglo XX con la construcción del Puerto de Leixões y las industrias cercanas relacionadas con el puerto. Con el tiempo, este paisaje ha evolucionado hacia una configuración más consolidada, como se muestra en el mapa de 2022. Aunque Matosinhos ya se considera una ciudad industrial, aún se observan dinámicas de transición que ofrecen nuevas oportunidades para la construcción de viviendas y servicios contemporáneos.

En Matosinhos, varios factores influyen en esta evolución, incluido el crecimiento que genera una constante transformación del paisaje urbano. Este cambio contrasta con las áreas naturales dispersas que aún subsisten en la ciudad. Se ha logrado un paisaje consolidado que promueve el desarrollo de un uso mixto.

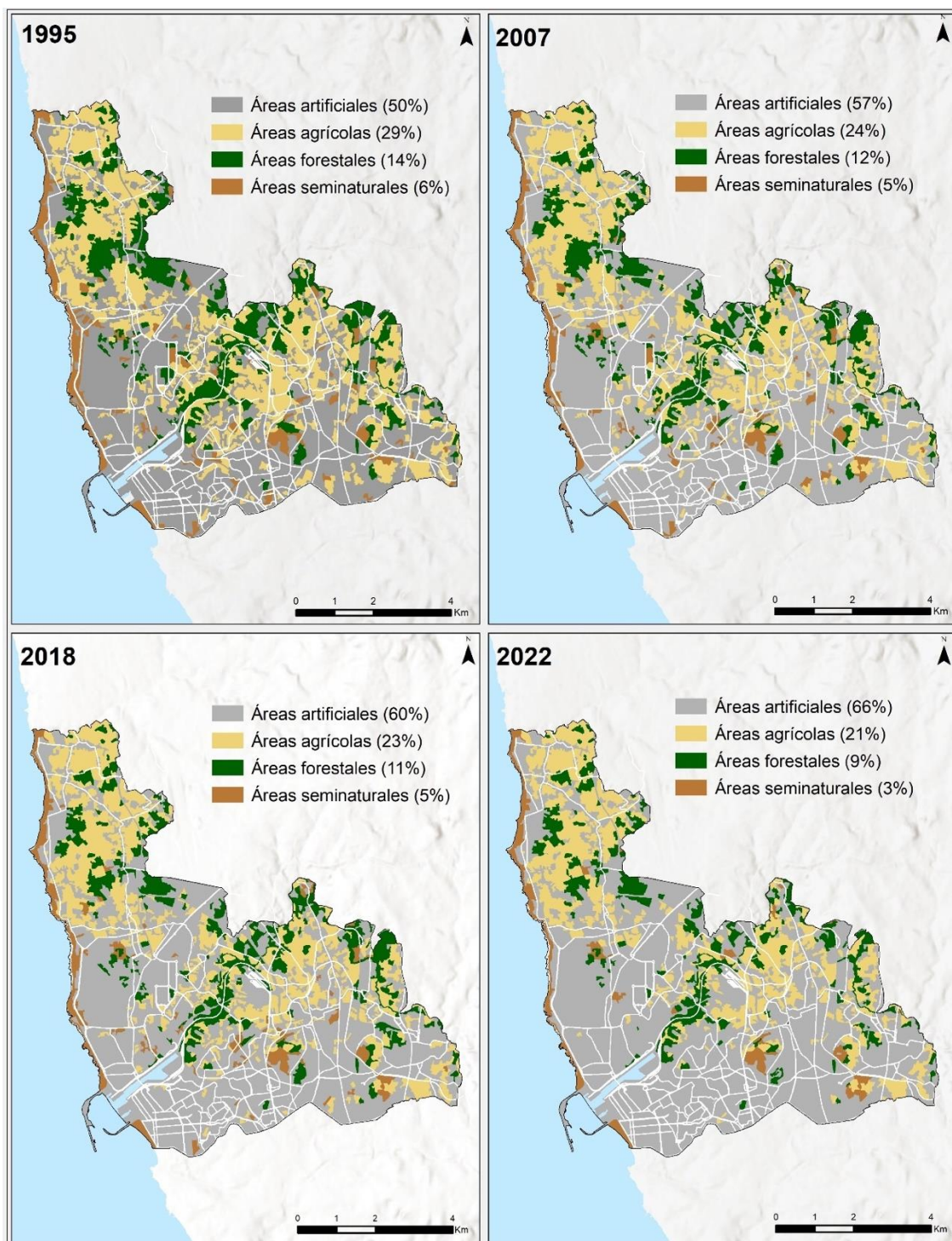


Figura 24 Mapa de Ocupación del suelo en Matosinhos 1995 a 2022. Fuente de datos: DGT, 2019

Las cuatro imágenes en la Figura 25 representan periodos, intervalos, con duraciones diferenciadas, y esta distinción se relaciona con la importancia de los cambios que se observan. El primer intervalo, que abarca desde 1995 hasta 2007, comprende un

periodo de 12 años. El segundo intervalo, entre 2007 y 2018, tiene una duración de 11 años, mientras que el tercero, que va desde 2018 hasta 2022, abarca un periodo de 4 años. Estos intervalos se seleccionaron con el propósito de presentar de manera óptima los cambios en la ocupación del suelo.

La elección de estos momentos de transformación se basa en la relevancia de la información que proporcionan. En el mapa, se puede apreciar un aumento en las áreas artificiales y una disminución gradual en las áreas agrícolas, forestales y seminaturales. Este fenómeno se debe a la necesidad de desarrollar terrenos con usos mixtos y a la creación de nuevas redes viales.

Para analizar la tendencia y conocer cómo y cuales categorías de ocupación del suelo se ha transformado en Matosinhos a lo largo de los años, analizamos las variaciones porcentuales⁴ por categoría y se agrupo los anos en periodos de tiempo. Los resultados se encuentran detallados en la Tabla 4 y se representan visualmente en el Figura 26

Tabla 4 Porcentaje de superficie total en Matosinhos versus variación porcentual por categorías 1995 a 2022. Fuente de datos: DGT, 2019

Periodo de Tiempo	Categorías de Ocupación del Suelo							
	Artificiales		Agrícolas		Forestales		Seminaturales	
	% Superficie total	% Variación	% Superficie total	% Variación	% Superficie total	% Variación	% Superficie total	% Variación
1995	50%	-	29%	-	14%	-	6%	-
1995-2007	57%	14%	24%	-15%	12%	-14%	5%	-16%
2008-2018	60%	4%	23%	-6%	11%	-6%	5%	-9%
2019-2022	66%	10%	21%	-11%	9%	-20%	3%	-26%

⁴ La fórmula utilizada para calcular el crecimiento o disminución porcentual fue: Crecimiento/Disminución porcentual = ((Valor final - Valor inicial) / Valor inicial) * 100.

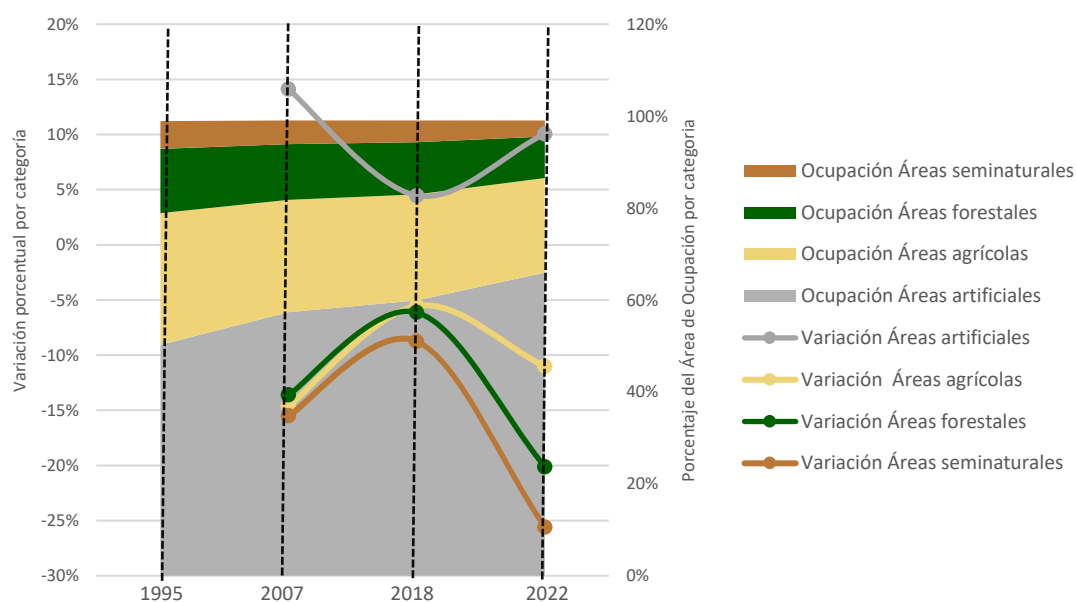


Figura 25 Porcentaje de la superficie ocupada versus variación porcentual por categorías 1995 a 2022. Fuente de datos: DGT, 2019

Se puede concluir que las áreas artificiales presentan una tendencia constante de crecimiento a lo largo de los tres períodos analizados, mostrando un aumento positivo, especialmente durante el período de 1995 a 2007, con un incremento del 14%, y 10% del 2019 al 2022. Este patrón de incremento sugiere un continuo proceso de consolidación de la urbanización y desarrollo de nuevas infraestructuras en Matosinhos, especialmente durante los últimos años.

Para las demás categorías, forestales, agrícolas y seminatural, la tendencia general es la disminución a lo largo del tiempo. En las áreas agrícolas, se registra una disminución constante de 15 % a 11 %, lo que indica una transformación gradual hacia usos no agrícolas, relacionada con la urbanización. Las áreas forestales también experimentan una disminución continua, de 14 % a 9 %, con una disminución más pronunciada en el período más reciente de 2019 a 2022. Esto sugiere una pérdida significativa de cobertura forestal en Matosinhos. Por último, las áreas seminaturales muestran una disminución continua, del 16 % al 3 %, lo que evidencia el cambio más significativo en la ocupación del suelo hacia usos no seminaturales.

Entre las razones que explican estos cambios en la ocupación del suelo, se consideran las transformaciones en el grupo social, el modelo de familia, los niveles educativos y las migraciones, ya que estas modifican la relación entre los habitantes y el número de habitaciones disponibles. Un factor a tener en cuenta es la promoción del turismo, impulsado por el Puerto de Leixões y facilitado por la localización inmediata del Aeropuerto Internacional Francisco Sá Carneiro, que atraen a un importante número de turistas y población temporal que, en algunos casos, requiere alojamiento.

Las propuestas de la CMM para fomentar el crecimiento de empresas también conllevan un aumento en la ocupación de empleados calificados, quienes probablemente residirán en áreas cercanas a sus lugares de trabajo.

La Figura 26, se presenta una representación espacial de las transformaciones en el uso del suelo a lo largo de diferentes períodos de tiempo. Se han examinado cuatro categorías principales: áreas de desarrollo artificial, zonas agrícolas, áreas forestales y espacios seminaturales. Este análisis permitió identificar las áreas que experimentaron una disminución o reconversión hacia un uso diferente, destacadas en tonos rojos, así como aquellas que aumentaron su adopción de una categoría de uso específica, resaltadas en tonos verdes. La graduación en la intensidad de los colores refleja los distintos períodos de tiempo bajo análisis: los tonos más claros corresponden al período de 1995 a 2007, los tonos intermedios abarcan de 2007 a 2018, y los tonos más oscuros indican los cambios más recientes en el período de 2018 a 2022.

Para las áreas artificiales durante el período de 1995 a 2007, espacialmente existe un crecimiento significativo, con un aumento de 451.5 hectáreas de suelo urbano. Esto sugiere un período de urbanización más acelerado durante esos años. No obstante, en el período subsiguiente, de 2007 a 2018, el crecimiento disminuyó con aproximadamente 163.4 hectáreas adicionales de suelo urbano. Esto indica un ritmo de urbanización más lento o regulado en esos años. En el tercer período, de 2018 a 2022, se observó un aumento moderado de 377.51 hectáreas de suelo urbano. Esto indica un

resurgimiento en el crecimiento urbano durante la última década, aunque aún no ha alcanzado el nivel observado en el período inicial.

Es importante destacar que gran parte de este crecimiento de las áreas artificiales se concentra en el interior del área urbana, lo que podría indicar procesos de consolidación urbana. En el último período, se ha observado un aumento moderado en la construcción urbana, caracterizada por la incorporación de desarrollos dispersos en toda la ciudad. Estos proyectos tienen como objetivo mejorar la oferta de servicios y la infraestructura para empresas con nuevos perfiles económicos.

El análisis de este mapa revela procesos que han impulsado los cambios en la reconversión de las áreas agrícolas, forestales y seminaturales a lo largo del tiempo. En el caso de las áreas agrícolas, es probable que factores como la urbanización, la expansión de la infraestructura o la conversión de tierras agrícolas en desarrollo urbano hayan contribuido a la disminución de estas áreas. Por otro lado, en las zonas forestales, los cambios pueden estar relacionados con actividades de tala, urbanización o cambios en la gestión forestal. En cuanto a las áreas seminaturales, los cambios pueden deberse a la expansión urbana, modificación en las prácticas de uso de la tierra o aplicación de políticas de conservación ambiental.

En el mapa de ocupación artificial se aprecia un incremento en la zona costera, donde la construcción de instalaciones destinadas al uso y disfrute de la franja costera ha intensificado la presencia de servicios. Asimismo, se puede observar una relación clara entre el desarrollo vial y la construcción de edificaciones que refuerzan los márgenes, los bordes, de las vías metropolitanas.

En el mapa agrícola, se evidencian áreas de suelo que aún son aptas para la siembra de diversas especies, pero con el tiempo, estas áreas han sido destinadas a usos urbanos distintos a los tradicionalmente agrícolas. Se percibe un patrón disperso en el mapa, el cual va disminuyendo a medida que aumenta la construcción urbana. No se identifican

grandes extensiones, globos, de suelo permeable, en contraste, se observa una reducción en la cantidad de áreas vegetales antes existentes.

En el mapa forestal, aún es posible reconocer, a pesar de su disminución, la presencia de cuerpos hídricos que mantienen la humedad necesaria para la supervivencia de los árboles. En la zona costera no se avistan áreas forestales, pero hacia el interior del concelho se pueden apreciar huellas resilientes de antiguos arbolados.

Por último, en las áreas seminaturales es donde menos se aprecian cambios significativos. Aunque se ha producido una disminución en su extensión, los efectos de su transformación no son evidentes en gran medida. Uno de los lugares con mayores cambios se encuentra localizado en la zona costera del malecón, donde la condición seminatural ha experimentado una reducción. Al observar los cuatro mapas de transformaciones de la ocupación de la Figura 27, se nota que en su mayoría se identifican pequeñas áreas afectadas, sin grandes extensiones ni cambios drásticos en el paisaje.

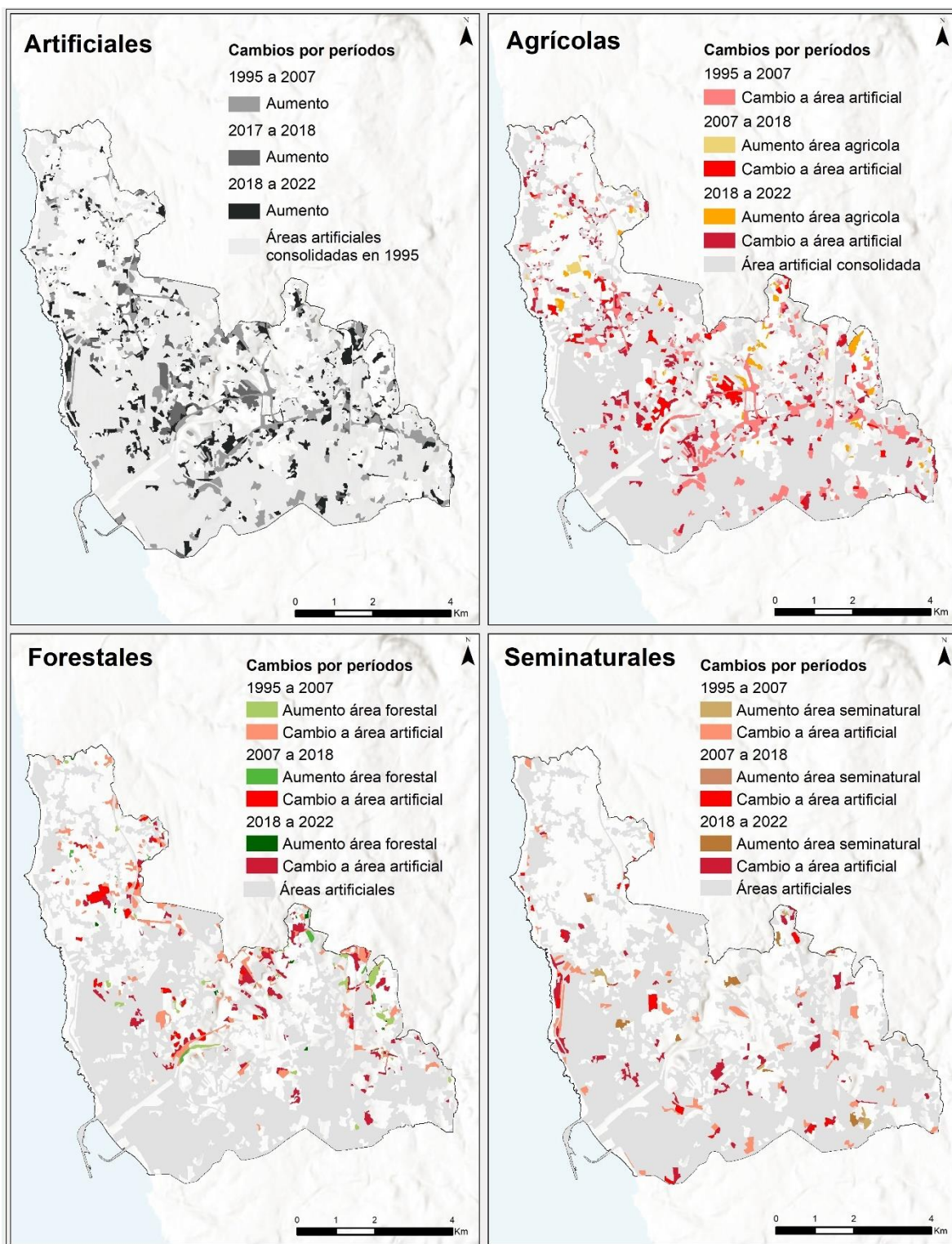


Figura 26 Mapas de Transformaciones de la ocupación del suelo en Matosinhos 1995 a 2022. Fuente de datos : DGT,

2019

Al cuantificar las áreas agrícolas, forestales y seminaturales, se evidencia que se han transformado en áreas artificiales en términos de porcentaje del cambio total para el período de 1995 a 2022 (Tabla 5), se puede concluir que el 60% de la transformación proviene de procesos de reconversión de las áreas agrícolas (576 hectáreas), mientras que el resto corresponde a la pérdida de áreas forestales (221 ha) y seminaturales (180 ha).

Tabla 5 Número de hectáreas de áreas agrícolas, forestales, seminaturales transformadas en áreas artificiales 1995 a 2022. Fuente de datos: COS 2021

Categorías de la Ocupación del Suelo	Número de hectáreas transformadas en áreas artificiales desde 1995 a 2022
Áreas agrícolas	576
Áreas forestales	221
Áreas seminaturales	180
Total	977

El significativo crecimiento de las áreas artificiales en Matosinhos conlleva un cambio sustancial en la impermeabilización del suelo debido a varios factores interrelacionados. En primer lugar, la construcción de áreas artificiales, como calles, aceras y edificios, implica el uso de materiales impermeables como concreto y asfalto, que impiden que el agua se filtre naturalmente en el suelo. En segundo lugar, la reducción de las áreas forestales y seminaturales ha disminuido la capacidad natural del suelo para absorber y retener agua, lo que resulta en un mayor riesgo de inundaciones pluviales debido a las alteraciones en los patrones de esorrentía.

Para conocer la magnitud del cambio en la impermeabilización del suelo en Matosinhos, se calculó un índice de impermeabilización utilizando como base el análisis multitemporal de las áreas artificiales, agrícolas, forestales y seminaturales durante 1995 al 2022.

Índice de impermeabilidad del suelo en Matosinhos durante 1995 a 2022

Para el cálculo del índice en función de la ocupación del suelo, se emplearon las directrices mencionadas en el capítulo de la metodología. A continuación, en la Tabla 6 se presentan los valores asignados para cada categoría y subcategoría de ocupación del suelo y su potencial de infiltración. Del mismo modo, en el mapa 28 se representan los coeficientes de impermeabilidad calculados para los años 1995, 2007, 2018 y 2022.

Tabla 6 Coeficientes de impermeabilidad por categorías. Fuente de datos: COS 2021

Categoría	Subcategoría	Cimp	Potencial de Infiltración
Áreas artificiales	Tejido urbano, equipamiento, transporte, comercio, industria	1	Total impermeabilidad
Áreas seminaturales	Espacios descubiertos y/o con poca vegetación	0,8	Alta impermeabilidad
Áreas agrícolas	Agricultura y viveros protegidos	0,6	Moderada permeabilidad
Áreas artificiales	Espacios verdes artificiales	0,5	Moderada permeabilidad
Áreas agrícolas	Áreas agrícolas heterogéneas y Cultivos temporales	0,4	Moderada permeabilidad
Áreas agrícolas	Agricultura con espacios naturales y seminaturales	0,3	Moderada permeabilidad
Áreas seminaturales	Áreas seminaturales con vegetación y pastos	0,2	Alta permeabilidad
Áreas forestales	Bosques	0	Total permeabilidad
Áreas seminaturales	Playas, dunas y arenas costeras	0	Alta permeabilidad

En la Figura 28 que muestra los coeficientes de impermeabilidad, y que abarca desde 1995 hasta 2022, se observa cómo ha cambiado la ocupación del suelo y, en consecuencia, su nivel de impermeabilidad. En 1995, el tipo de suelo predominante es el suelo impermeable, aunque también se encuentran suelos con coeficientes de permeabilidad que varían desde totalmente permeables, caracterizados por bosques, hasta moderadamente permeables, que pueden ser zonas agrícolas con espacios naturales y seminaturales. La zona más cercana al puerto presenta suelos densamente impermeables, dejando pocos espacios moderadamente permeables, como áreas verdes artificiales, por ejemplo, los parques urbanos.

En 2007, la zona norte del Concelho mantiene una tendencia hacia la moderada impermeabilidad, donde se ubica gran parte de la Reserva Agrícola Nacional y algunas áreas estratégicas de protección y recarga de acuíferos. En 2018, se sigue manteniendo

la presencia de áreas RAN debido a la necesidad de proteger y conservar estas zonas. Sin embargo, las áreas agrícolas con espacios naturales y seminaturales van convirtiéndose en suelos impermeables.

Para 2022, la zona cercana al puerto se caracteriza por ser totalmente impermeable, con excepción de algunas áreas con moderada impermeabilidad. En la cuenca del Leça se respeta la ribera del río, con suelos completamente permeables, y hacia el interior del Concelho se conservan las áreas que requieren cuidado y respeto, con la inclusión de algunos pequeños parques en su entorno.

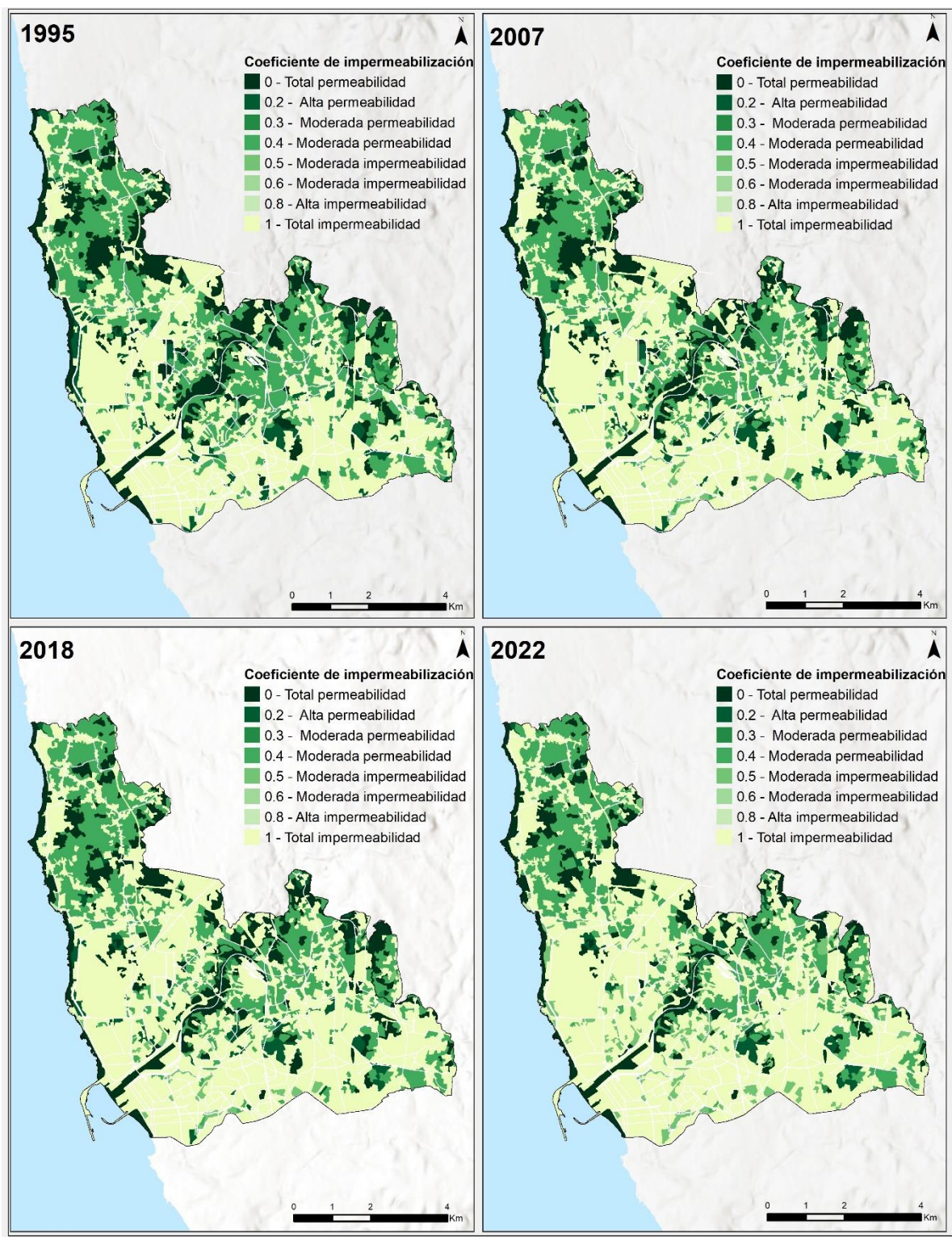
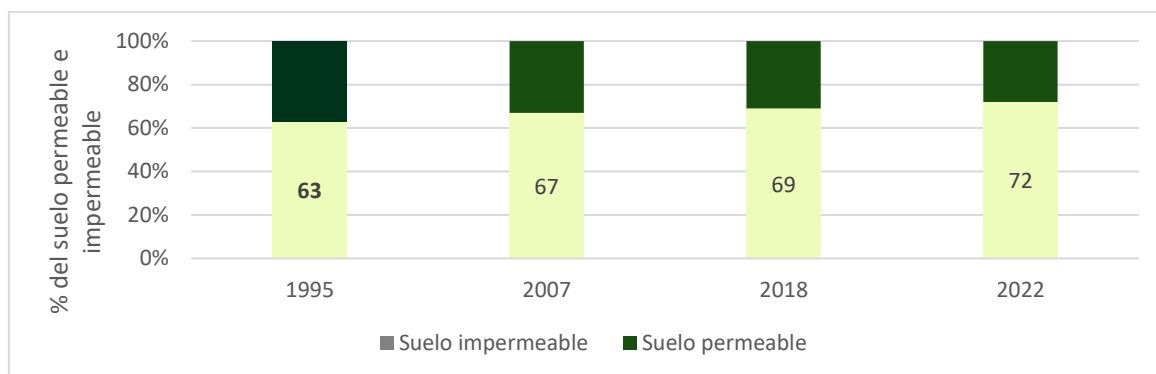


Figura 27 Mapa con Coeficientes de impermeabilidad en áreas agrícolas, forestales, seminaturales a áreas artificiales 1995 a 2022.
Fuente de datos: COS 2021

A partir de los coeficientes de impermeabilidad, se llevó a cabo la segunda fase de cálculo del índice de impermeabilidad del suelo, obteniendo los siguientes resultados que se presenta a continuación en la Tabla 7:

Tabla 7 índice de impermeabilidad del suelo - Limp en áreas agrícolas, forestales, seminaturales a áreas artificiales 1995 a 2022. Fuente: A partir del cálculo de índice de impermeabilidad 1995, 2007, 2018 y 2022.



Como conclusión se observa un crecimiento gradual del índice de impermeabilidad del suelo en Matosinhos. Los datos indican un aumento constante desde 1995 hasta 2022, comenzando en un 63% en 1995 y llegando al 72% en 2022. Este fenómeno representa un incremento del 16% en la impermeabilización en los últimos 30 años. Durante este período sostenido, las áreas impermeabilizadas han mantenido un porcentaje superior al 60% en la ciudad.

5.2 Análisis de los Patrones Espaciales de Inundaciones Pluviales en Matosinhos (1995-2022) y su Relación con el Incremento de Áreas Impermeabilizadas.

Los datos sobre los eventos de inundación pluvial se obtuvieron en la CMM (Comisión Municipal de Matosinhos). Estos datos fueron recopilados por la Universidad de Porto en colaboración con el Departamento de Geografía, en conjunto con la Protección Civil de Portugal. El objetivo de este estudio era cartografiar los riesgos tecnológicos, naturales y sociales en el marco del Plan Municipal de Emergencia de Matosinhos.

En el Figura 29, se ilustra el número de eventos de inundaciones pluviales en Matosinhos por año, el periodo analizado fue desde 1995 hasta el 2022. Con el fin de proporcionar

un contexto más claro sobre esta distribución a lo largo del tiempo, se ha vinculado esta información con la precipitación total anual en la región de Porto durante el mismo período de tiempo. Esta asociación de datos sobre la precipitación permite una mejor comprensión de cómo los niveles de lluvia están relacionados con la ocurrencia de inundaciones pluviales a lo largo de los años.

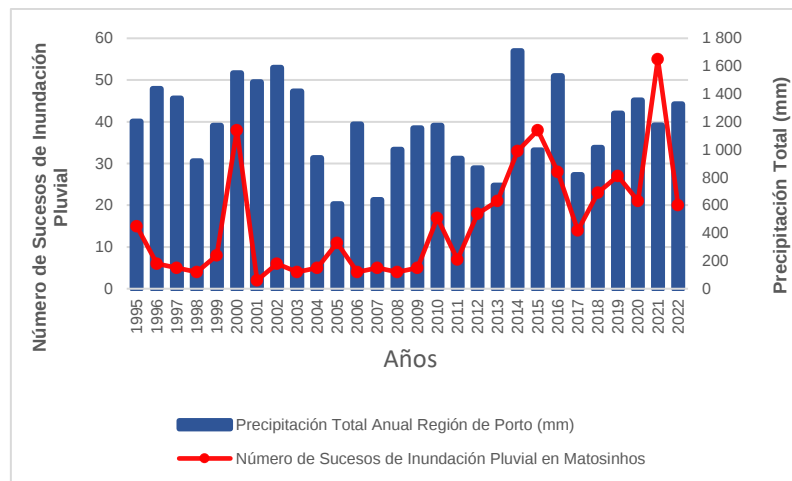


Figura 28 Numero de sucesos de inundación pluvial versus variación precipitación total 1995 a 2022. Fuente: IMPA 2022

Los datos muestran un aumento general de los sucesos de inundación pluvial en Matosinhos a lo largo del período de estudio. La media de sucesos por año pasó de 15 en 1995 a 55 en 2021. Esta tendencia se puede explicar por varios factores, como el aumento de la población y la urbanización de la zona, que han reducido la capacidad de absorción del suelo y han aumentado la escorrentía superficial.

En cuanto a la precipitación total anual en la región de Porto, también se observan fluctuaciones a lo largo de los años. Los valores varían desde 609 mm en 2005 hasta 1,707 mm en 2014. En general, parece haber una correlación entre la precipitación total anual y el número de sucesos de inundación pluvial en Matosinhos, ya que los años con una mayor precipitación tienden a tener un mayor número de inundaciones pluviales.

No se observa una correlación clara entre el número de sucesos de inundación pluvial y la precipitación total anual. Sin embargo, hay una tendencia a que los sucesos de inundación pluvial sean más frecuentes en años con precipitaciones superiores a la

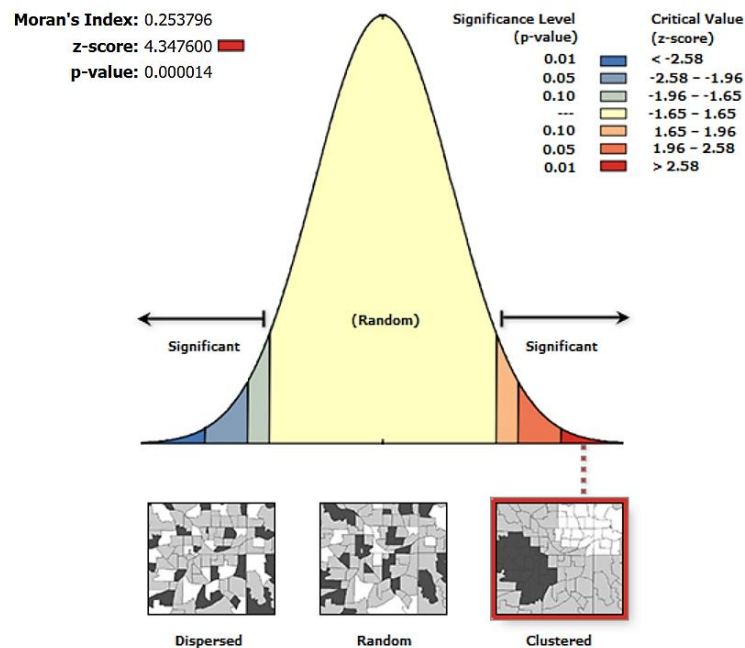
media. Por ejemplo, el año 2000 fue uno de los años más lluviosos de la historia de Portugal, con una media de 1.550 mm de lluvia.

Para identificar los patrones espaciales de los sucesos de inundación pluvial en Matosinhos y comprender su autocorrelación espacial⁵ se llevó a cabo el cálculo del índice de Moran. Este índice proporciona una medida del grado de asociación espacial en un conjunto de datos y determina si valores similares tienden a agruparse en un área, lo que se conoce como autocorrelación espacial positiva, o si, por el contrario, los valores contrastantes están adyacentes entre sí, indicando una autocorrelación espacial negativa.

El resultado del índice de Moran varía entre -1 y 1. Un valor cercano a 1 indica autocorrelación positiva (agrupación espacial de valores similares), mientras que un valor cercano a -1 sugiere autocorrelación negativa (dispersión espacial de valores contrastantes). Un valor cercano a 0 indica una distribución espacial aleatoria.

El cálculo de índice se llevó a cabo con la asistencia del software ArcGIS. Los resultados se presentan en la Figura 30:

⁵ La autocorrelación espacial es un concepto en estadísticas y geografía que se refiere a la medida en que los valores de una variable en una ubicación geográfica están relacionados con los valores de la misma variable en ubicaciones cercanas.



Given the z-score of 4.3476001914, there is a less than 1% likelihood that this clustered pattern could be the result of random chance.

Global Moran's I Summary	
Moran's Index:	0.253796
Expected Index:	-0.002004
Variance:	0.003462
z-score:	4.347600
p-value:	0.000014

Figura 29 Índice de Moran de los sucesos de inundación pluvial en Matosinhos 1995 a 2022. Fuente de datos: Arcgis, CMM 2023

Como se puede observar, el resultado del índice de Moran arrojó un valor de 0.25, lo que sugiere una correlación positiva entre los niveles de inundación pluvial en ubicaciones cercanas. Esto indica que las áreas propensas a inundaciones tienden a estar rodeadas por otras áreas con características similares de inundación.

El valor Z obtenido fue de 4.3, lo cual indica la presencia de una autocorrelación espacial estadísticamente significativa. En otras palabras, los eventos de inundación pluvial en Matosinhos, durante el período de 1995 a 2022, muestran un patrón de agrupación espacial que es poco probable que sea el resultado de una casualidad aleatoria.

Una vez identificado los patrones espaciales, se procedió a identificar donde se ubican las áreas de mayor concentración de sucesos de inundaciones pluviales en Matosinhos mediante mapas, los cuales se describirán en la siguiente sección.

5.3 Susceptibilidad de Inundación

Al planificar una ciudad unos de los factores más importantes a tener en cuenta es la topografía y la morfología. Ya que la ciudad de Matosinhos es una ciudad que responde a las condiciones del territorio, ha crecido de manera orgánica mayoritariamente, generando un tejido urbano irregular. Este comportamiento indica que una planeación territorial eficiente debe ser revisada cuidadosamente, donde son determinantes las curvas de nivel topográfico, la hidrografía y los accidentes físicos del territorio. La actividad de la escorrentía está asociada a las superficies cóncavas, que son altamente susceptibles a inundaciones (Talukdar et al., 2020, 2280).

Al realizar el análisis multicriterio se trabajaron con 6 variables. Cada una de estas variables dio como resultado productos para analizar. Y el resultado final del modelo con todas las variables superpuestas da para análisis de otros aspectos. Los mapas temáticos muestran las distribuciones espaciales de los factores. Así se obtienen seis imágenes agrupadas en la Figura 35.

Se puede observar en el mapa del DEM que la zona cercana al océano Atlántico y la delta, son los emplazamientos con mayor nivel de riesgo de inundación. Desde esta localización en dirección al sur oriente la elevación aumenta hasta los 120 msnm.

Habiendo realizado un modelo de inundación se observó que la zona entre los 51 a 120 msnm es poco probable una inundación por causa creciente de ondas oceánicas, sin

embargo; como se está trabajando con inundaciones pluviales se detectó que en las zonas con mayores depresiones es donde hay más registros de inundaciones.

El DEM es una fuente principal para extraer la condición topográfica del área de estudio y se puede utilizar para reconocer elevación, pendiente y curvatura para esta investigación (Khosravi et al., 2016, 435).

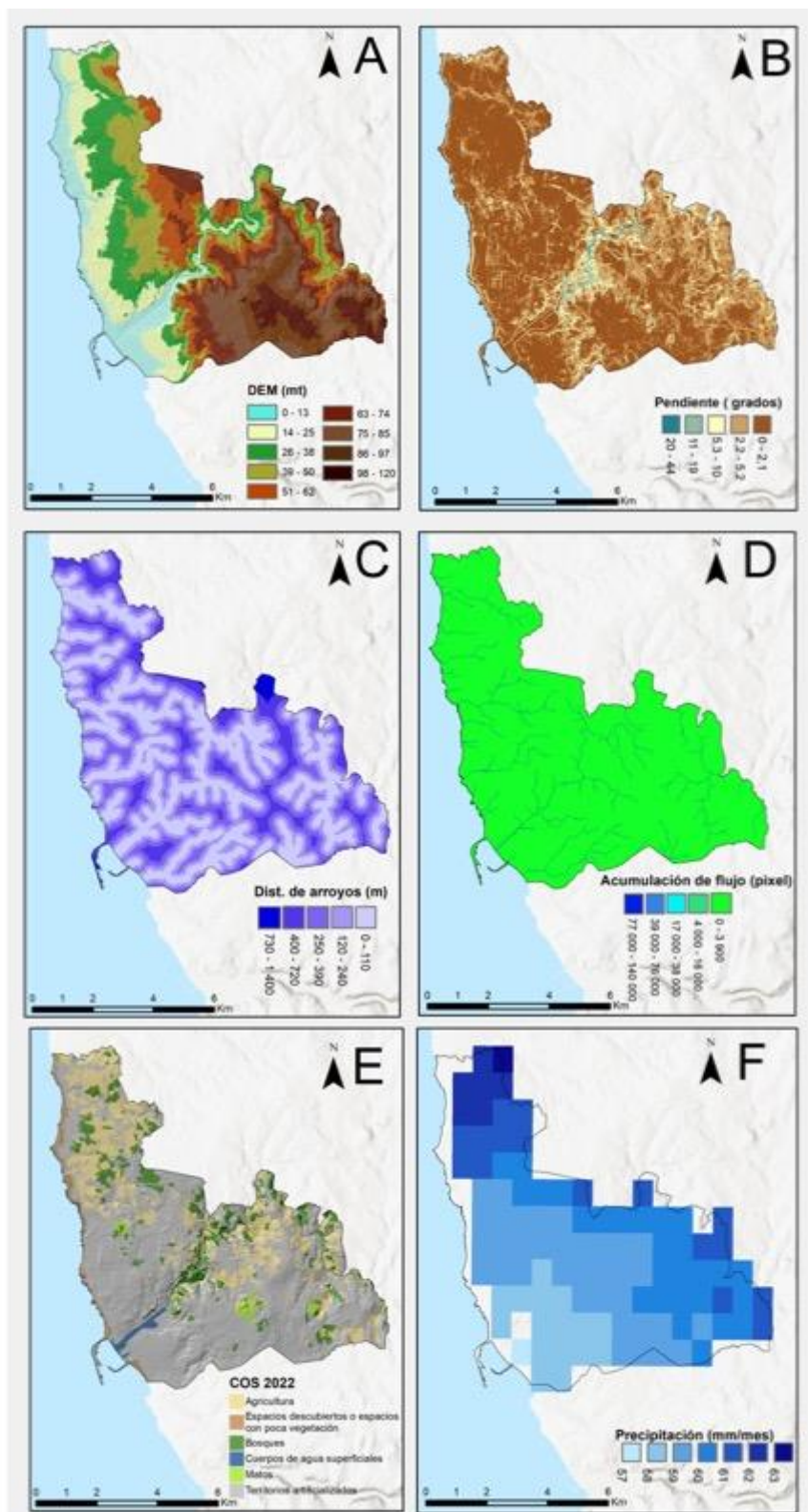


Figura 30 Factores de susceptibilidad utilizados en este estudio: a DEM, b Pendiente, c Distancia a la red de drenaje, d Acumulación de caudal, y Uso y cobertura del suelo, f. Precipitación mensual. Fuente de datos: CMM 2019

La pendiente es uno de los elementos cruciales en las inundaciones. El peligro de inundaciones aumenta a medida que disminuye la pendiente. La pendiente es un indicador fiable de la susceptibilidad a inundaciones (Salar Cabrera & So Lee, 2019, 9). Para el mapa de pendientes se observó que las zonas en donde se encuentran mayor pendiente es el valle del río Leça que está entre 20 a 44°. Esta pendiente se ubica más hacia el interior del concelho de Matosinhos y 2 km antes de llegar a la desembocadura disminuye la pendiente hasta llegar a 0°. También se observa que la zona norte la pendiente es menos abrupta pues se encuentra entre los 0 a 2,1° y mientras más al suroriente se observe mayor es la pendiente hasta llegar a los 44°.

La distancia de arroyos es importante ya que las áreas ubicadas lejos de la red de drenaje generalmente tienen menos probabilidades de sufrir inundaciones que las áreas cercanas porque estas últimas se encuentran dentro de la trayectoria del flujo de la escorrentía superficial (Mahmoud & Yew Gan, 2018, 223). Entre más próxima sea la distancia entre los arroyos se asignó el valor más alto; en este caso 10; y entre más distantes fluyen los arroyos el valor disminuirá hasta 2. Como se observa en el mapa de distancias de arroyos la cantidad de cauces se localiza por toda el área de estudio. La distancia entre los arroyos es corta pues la mayoría tiene una distancia de 0 a 110 m y va aumentando hasta los 1400 metros en donde es improbable que haya alguna inundación.

La acumulación de flujo es probablemente el parámetro más importante para delinear las zonas de susceptibilidad a inundaciones (kazakis et al., 2015, 559). Por lo que la acumulación de alto flujo en las zonas cóncavas puede generar un alto nivel de susceptibilidad de inundación. Es debido a esto que se le dio el valor de importancia más alto a la hora de realizar los porcentajes para el análisis multicriterio. El Concelho de Matosinhos no presenta una cantidad significativa de cuerpos de agua lóticos, sin embargo, la fotografía tiene accidentes morfológicos en todo el territorio del Concelho en donde se observa la gran cantidad de cauces secos o estacionales. Como se observa en el mapa de distancia de arroyos, Matosinhos presenta condiciones morfológicas que

dan cuenta de la cobertura de los cauces. Es importante aclarar que estos cauces no siempre están húmedos, sólo en épocas de lluvia en donde conlleva al incremento de escorrentía.

A continuación, se encuentra el mapa de cobertura de suelo. En este caso se trabajaron 15 tipos de cobertura para una mejor precisión. La mayor superficie corresponde a la del tejido edificado localizado en la zona sur oriental del área de estudio. Gran parte de esta cobertura se encuentra paralela a la costa marítima y al río Leça. La segunda cobertura con mayor superficie es la de cultivos temporales que se extiende al interior del Concelho por la zona sur, y hacia el norte se observa, próximo a la costa, la adyacencia con el tejido edificado. La zona norte es la de menor pendiente, presenta cultivos que absorben sin inconveniente la lluvia. Mientras que la zona sur, donde se encuentra mayor pendiente, están localizadas algunas de las zonas industriales, tejidos edificados, masas forestales y cultivos temporales.

Para finalizar se trabajó con la variable de precipitación que, aunque fue difícil encontrar información a la escala deseada, se realizó el mapa de precipitación. Como se observa en la zona norte es donde hay mayor precipitación pues está entre 61 a 63 mm por mes. Sin embargo, se observa que en el sector oriental una precipitación de 61 mm por mes, tal como se aprecia en la Figura 36.

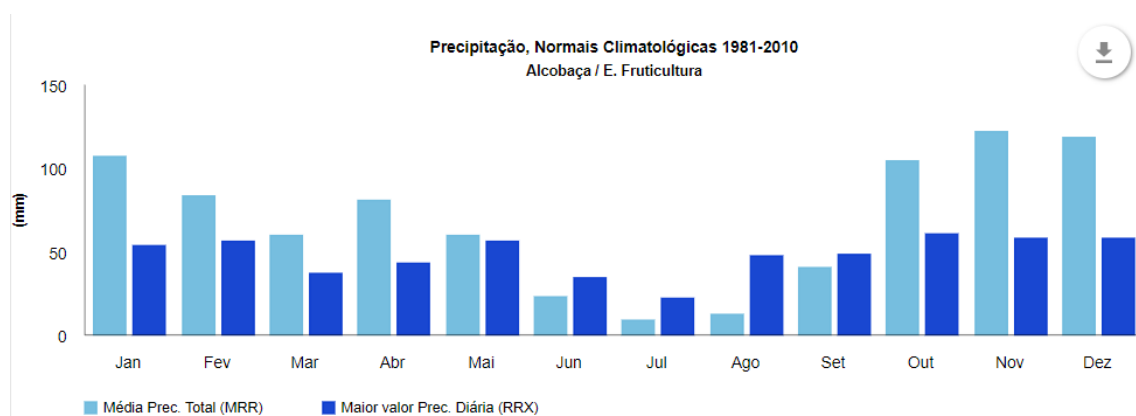


Figura 31 Precipitación mensual en Matosinhos. Fuente: IPMA 2019

Los meses más secos son julio y agosto mientras que abril y noviembre son los meses con mayor humedad. Ya que se trabajó con el mes de noviembre se puede comprobar que la lluvia para Matosinhos en este mes puede llegar hasta los 100 mm.

El resultado del modelo de susceptibilidad con las variables integradas, tal como se aprecia en el Figura 37, demuestra que al occidente del municipio de Matosinhos se encuentra mayor probabilidad de inundación. Esto se debe a diferentes factores; la primera razón es que el área con mayor susceptibilidad está en la costa porque lo es natural que puede llegar a inundarse con más facilidad no en tanto, siendo que la zona en donde más llueve es hacia el oriente, y la zona más alta del área de estudio también es al oriente. Por lo tanto, al oriente hay más escorrentía de lluvia que se desliza por los pliegues cóncavos, fluyendo en procura de zonas planas, dando como resultado que el agua se acumule aposentada en la zona occidental.

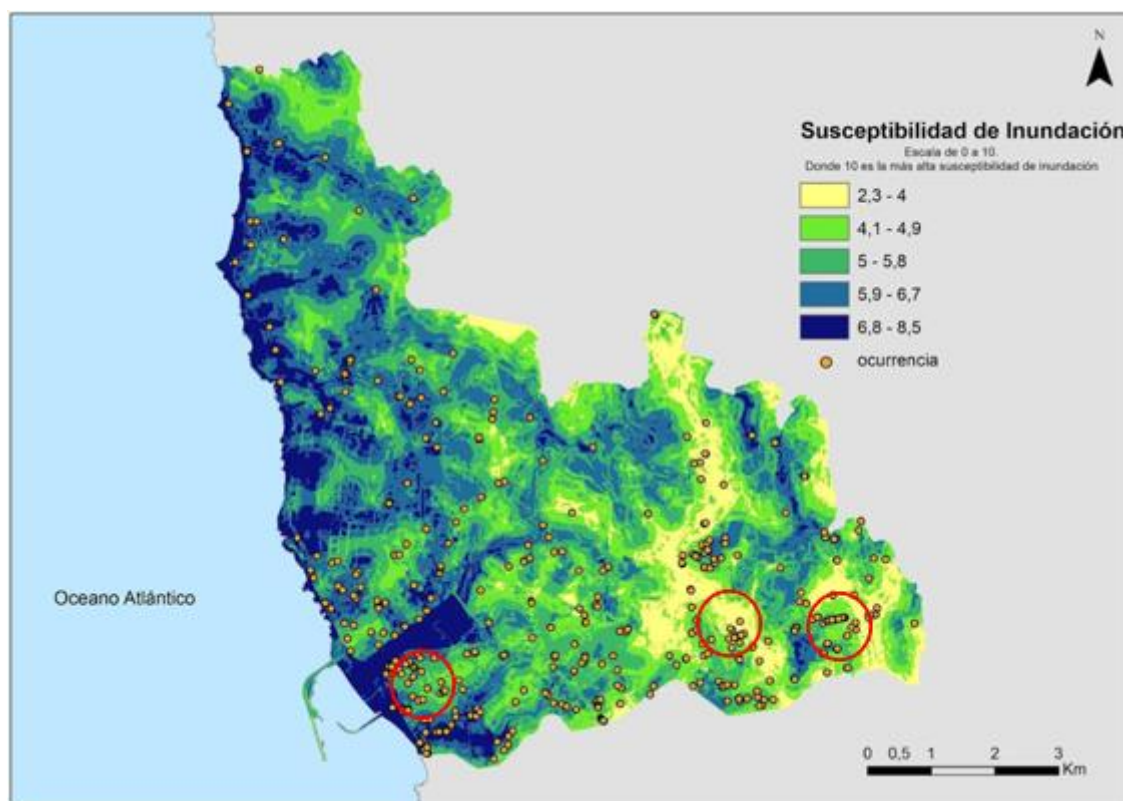


Figura 32 Susceptibilidad a inundaciones para Matosinhos. Fuente datos: CMM 2022

Sin embargo, como se puede ver en el mapa, la presencia de inundaciones se expresa aleatoriamente por todo el Concelho por lo que para identificar en que freguesia se

encontraban más inundaciones, se realizó la siguiente tabla que identifica las freguesias con las zonas con mayor número de inundaciones, y que corresponde con la Unión de freguesias de Matosinhos y Leça, localizada cerca a la costa como se presenta en la Tabla 8.

Tabla 8 Número de inundaciones por freguesía. Fuente: CMM 2022

Unión de freguesias	N. de inundaciones
Perafita, Lavra e Santa Cruz do Bispo	64
Custóias Leça do Balio y Guifões	138
Matosinhos y Leça da Palmeira	183
São Mamede de Infesta e Senhora da Hora	158

5.4 Sucesos de Inundación Pluvial en Matosinhos durante 1995 a 2002 y su relación con el crecimiento de las áreas artificiales

Con el fin de comprender la distribución espacial de los eventos de inundación pluvial en Matosinhos y su relación con el crecimiento de áreas urbanizadas y, como resultado, la impermeabilización del suelo, se realizaron varios análisis. Estos análisis incluyeron la evaluación de eventos de inundación pluvial, la densidad de construcción, las áreas urbanizadas y la superposición de capas temáticas. A continuación, se presentan los mapas que ilustran estos aspectos

En Figura 31 se representan los eventos de inundación en relación con las áreas urbanizadas y las construcciones. Como se puede observar, existe una concentración significativa de sucesos de inundación en las zonas con mayor desarrollo urbano, donde hay menos áreas de suelo permeable. Dentro de estas zonas se destacan: el centro antiguo de Matosinhos, que se extiende desde el puerto de Leixões hasta la zona sur,

limitando con el concelho de Porto, donde se ha incrementado las edificaciones; la unión de las freguesias de Custoias, Leça do Balio y Guífoes; y la unión de las freguesias de São Mamede de Infesta y Senhora da Hora.

Al analizar las concentraciones de sucesos de inundaciones en el mapa, se deduce que los eventos de inundación no tienen una escala global, es decir, no se distribuyen de manera homogénea y no afectan a toda la región de Matosinhos por igual. En cambio, tienen una escala local y se concentran en las áreas artificiales de Matosinhos, donde los suelos han perdido su capacidad de absorber las aguas pluviales. Esta realidad se hace más evidente al desglosar los datos por años (1995, 2007, 2018 y 2022) y al superponer el crecimiento de las áreas artificiales se puede observar un patrón de aumento y una conexión espacial en las densidades, especialmente en la parte sur de Matosinhos.

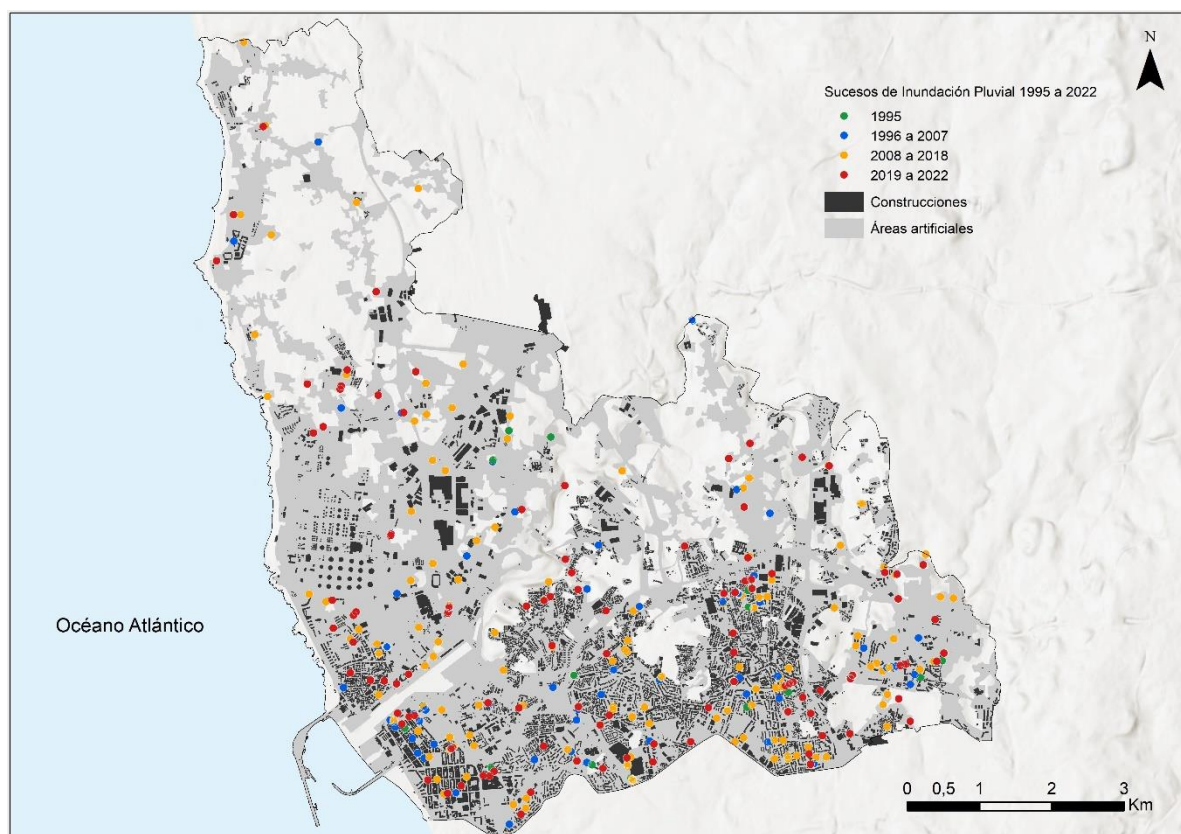


Figura 33 Áreas artificiales, construcciones y sucesos de inundación pluvial en Matosinhos entre 1995 a 2022. Fuente de datos: Open Street, CMM 2023

Al comparar los datos correspondientes a estos cuatro períodos en las Figuras 32 y 33, se pueden identificar tanto permanencias como transformaciones en relación con los sucesos de inundación pluvial. Las permanencias se refieren a recurrencias puntuales en el régimen de precipitación, mientras que las transformaciones están relacionadas con el impacto causado por la construcción de zonas impermeables.

La permanencia más evidente se registra en el área del puerto de Leixões, donde se registran variaciones leves a lo largo del tiempo. Al estudiar los cuatro períodos, se destaca una estructura vertical de sur a norte que experimenta alteraciones, disminuyendo con el tiempo. La unidad que se muestra en 1995 comienza a desagregarse en puntos que toman la forma de globos, separándose con el transcurso de los años.

Otra estructura identificable es la horizontal, que atraviesa el puerto de Leixões y se extiende en paralelo de oriente a occidente a lo largo de la frontera entre Matosinhos y Porto. Puede suponerse que esta estructura actúa como una barrera compuesta por la suma de eventos pluviales que, con algunas variaciones, se mantienen constantes a lo largo del tiempo, vinculando a las dos ciudades. En los cuatro períodos se aprecia un aumento lineal de las áreas impermeables, coincidiendo con la ocurrencia de precipitaciones en el sector sur de Matosinhos.

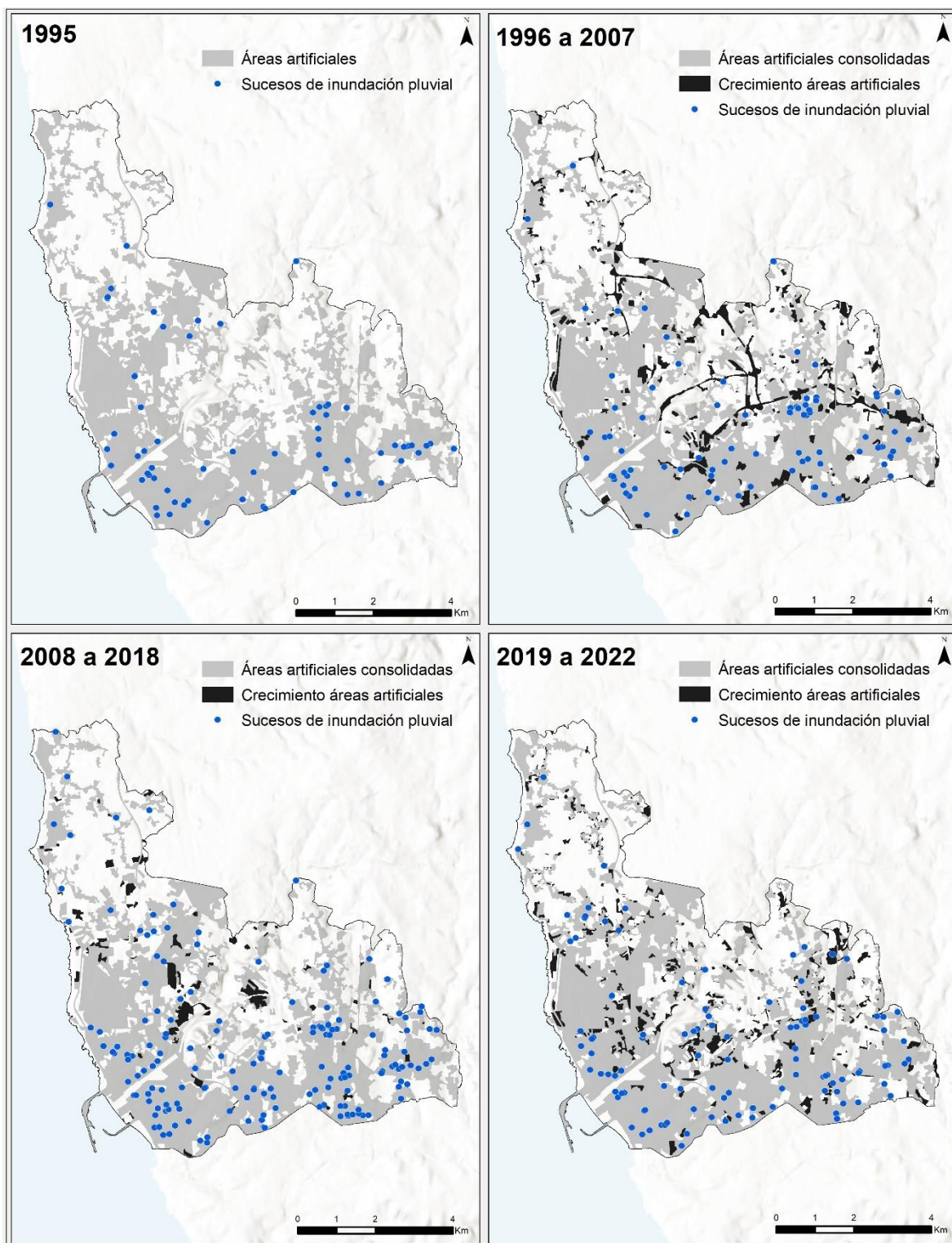


Figura 34 Sucesos de inundación pluvial en Matosinhos versus crecimiento de áreas artificiales. Fuente de datos: CMM, 2019

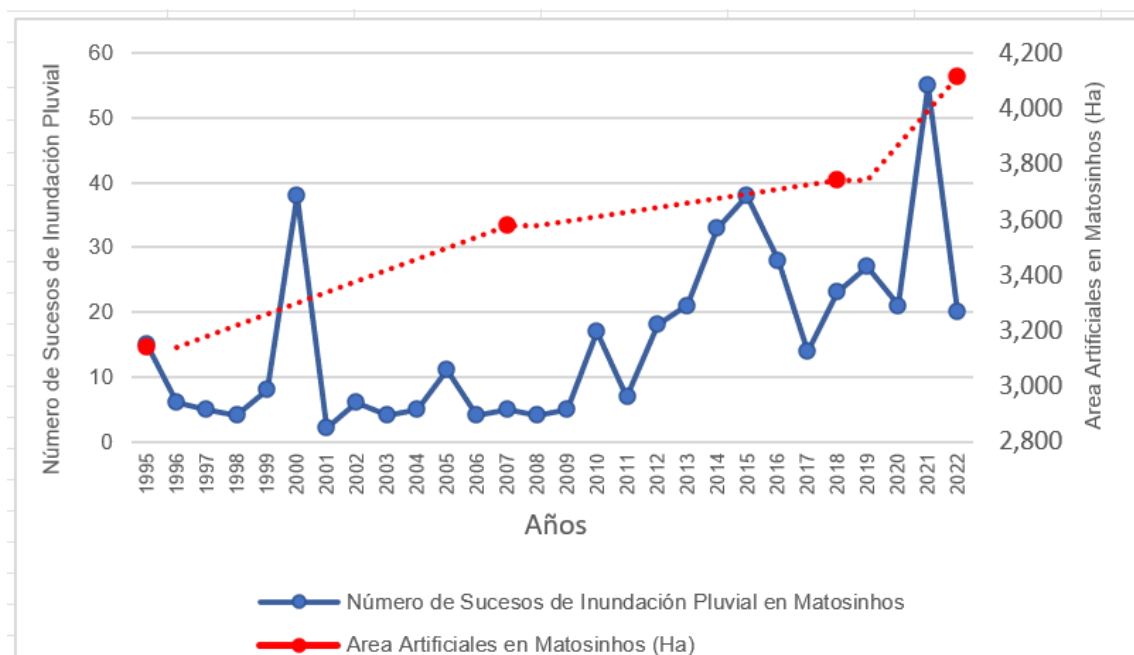


Figura 35 Numero de sucesos de inundación pluvial versus crecimiento de áreas artificiales 1995 a 2022. Fuente: IPAM 2022

Finalmente, para espacializar la relación entre los sucesos de inundación pluvial, las áreas artificiales y la densidad de construcción, se llevó a cabo un análisis de superposición de capas, como se evidencia en el Figura 34.

En este mapa, se representaron los puntos de los sucesos de inundación pluvial agrupados por periodos de tiempo, la densidad de construcción urbana (en azul) que fue elaborada a partir de la capa de construcciones disponible en el portal de Open Streep Maps y las áreas artificiales. A partir del mapa 6, se puede concluir que:

- Existe una coincidencia espacial entre las áreas de mayor densidad de construcción y una mayor densidad de sucesos de inundación lo que indica que en las áreas urbanas más consolidadas han sido las más vulnerables a sucesos de inundación pluvial.
- La localización de los sucesos de inundación pluvial se ha mantenido relativamente fija en los mismos sitios desde el año 1995, afectando reiteradamente las mismas áreas, especialmente en el sur de Matosinhos, en la

franja próxima a la ciudad de Porto y han ido aumentando de tamaño especialmente a medida que se intensifica la consolidación de la urbanización.

- La localización de los puntos críticos, en relación con la estructura vial y construida de Matosinhos, muestran lugares de permanente suceso de inundación. Por esta razón, las áreas específicas de casos de análisis puntuales, para esta tesis, corresponden a algunos de esos lugares.

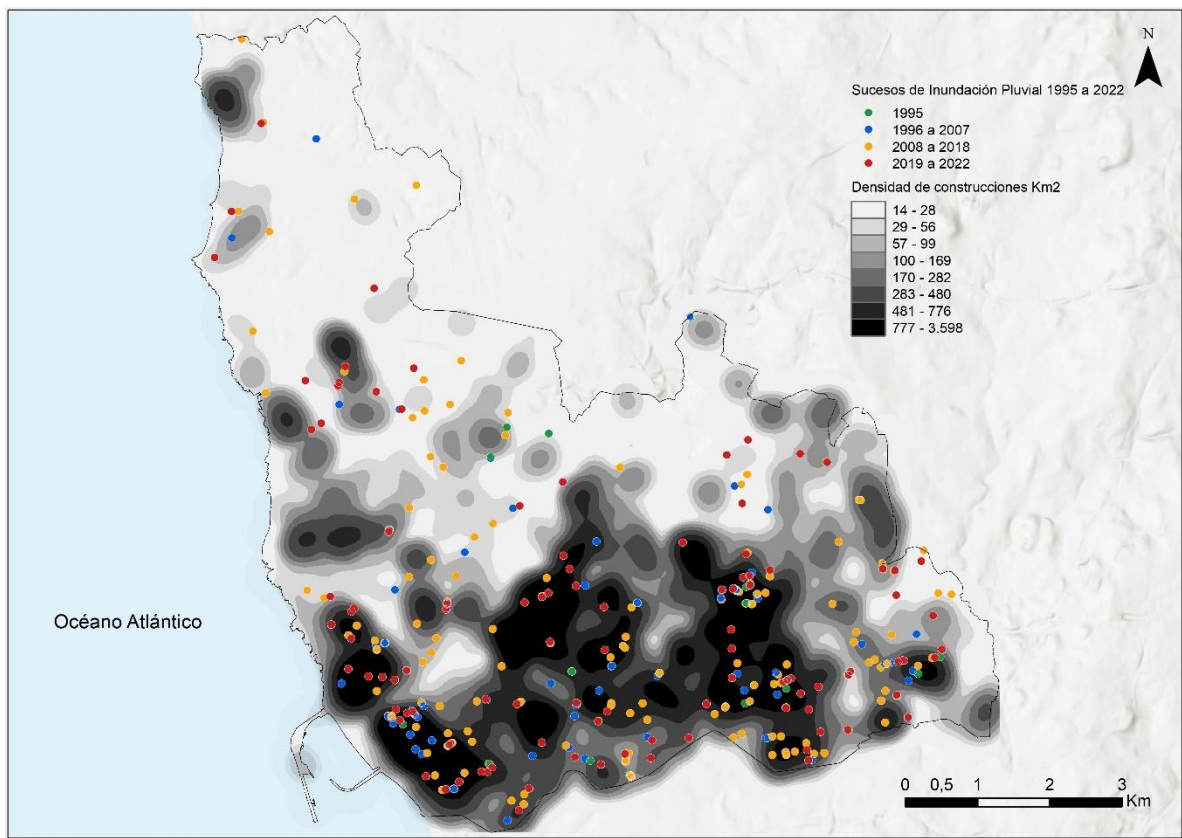


Figura 36 Análisis de los sucesos de inundación pluvial en Matosinhos por periodos versus Densidad de construcciones. Fuente de datos: CMM 2019

5.5 Estudios de caso con trabajo de campo

FORMAS DE MANZANAS Y OCUPACIÓN PREDIAL EN EL CONTEXTO DE CADA ÁREA DE ESTUDIO

Las determinantes del trazado, sumados a las formas de ocupación de cada uno de los predios, generan condiciones propias para el manejo de las aguas lluvias en cada sector. Cada sector cuenta con morfologías diferentes y con características espaciales de formas de ocupación y distribución de los predios y de las manzanas que contribuyen o afectan la producción de encharcamientos y escorrentías de diferente importancia.

Este análisis espacial se desarrolla sobre imágenes de google earth que permite apreciar vías, manzanas, predios, ocupación del predio y alturas generales.

Por lo tanto, por cada una de las áreas de estudio se elaboró un esquema en donde se desarrolla un análisis de forma funcional (Cepal 2013) identificando las formas de ocupación y distribución de manzanas y predios, su orientación y su relación con la topografía del territorio y su relación con el contexto.

Cada una de los casos estudiados se presenta en un gráfico independiente, así la Avenida Conde corresponde a la Figura 35, la Calle Elaine Sanceau a la figura 36 y las calles A. Casteloes y Ló Ferreira a la Figura 37.

FORMAS DE OCUPACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DEL ESPACIO EN AVENIDA CONDE

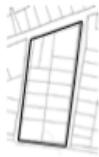
FORMAS DE OCUPACIÓN DEL CONTEXTO			Area de estudio 1: Avenida Conde
Localización	Forma de Manzanas		
	 Manzana Irregular	 Manzana Trapezoidal alargada	 Manzana Triangular
Ocupación	Formas de predio		
			
Esta área de estudio se encuentra entre vacíos urbanos, la Avenida Conde forma parte de una rama de vía urbana que conecta con las calles Elaine Sanceau y Xanana Guzmán dirigiéndose paralela a la Autostrada A4 y pasando la N 13 con el centro de la ciudad. r ARU de São Mateus de Infesta en la Câmara Municipal de Matosinhos.	Formas de ocupación del predio		
	 Construcción Paramentada y retrocedida	 Construcción semi exenta	 Construcción Paramentada
			La morfología irregular de las manzanas en esta área de estudio se caracteriza por que sus dimensiones y ángulos, responden al origen como producto del cruce de caminos, sobre un territorio con geografía pendiente. La división predial con unidades de diferentes proporciones, gradualmente se disponen de forma perpendicular a los bordes de las manzanas; intentando regularizar. Hay pocos predios con proporciones y dimensiones similares. Las formas de ocupación se dan principalmente por predios de forma paramentada, entre medianeras, con aislamientos anteriores, posteriores y laterales en algunos casos. La densificación es media con una ocupación dispersa. La presencia de muros en antejardines permiten clasificarlos como paramentado

Figura 37 Análisis morfológico funcional Avenida Conde. Fuente: Elaboración Propia con imágenes google earth y CCM. 2023

FORMAS DE OCUPACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DEL ESPACIO EN RUA ELAINE SANCEAU

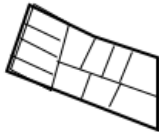
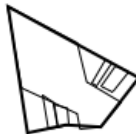
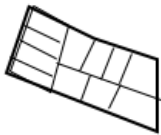
FORMAS DE OCUPACIÓN DEL CONTEXTO			ÁREA DE ESTUDIO: 2. R. Elaine Sanceau		
Localización		Forma de Manzanas			Las formas de las manzanas en esta área son de dimensiones más grandes. De formas irregulares, de acuerdo a la leve bajada de la pendiente del terreno, se encuentran grandes edificios aislados. La división predial en esta unidad presenta dos características diferentes: 1. Predios de grandes dimensiones de forma irregular respondiendo a la morfología de las vías preexistentes. 2. Predios de menor dimensión, generalmente bordeando los grandes predios y paramentados con las calles Las formas de ocupación se dan principalmente paramentadas con aislamientos posteriores en el caso de las viviendas, las cuales generan un centro de manzana libre. Y ocupaciones aisladas para los edificios de equipamientos u otras actividades.
		 Manzana flanqueada	 Manzana Trapezoidal alargada	 Manzana irregular	
Ocupación		Formas de predio			
		 Predios irregulares generalmente			
		Formas de ocupación			
Esta área de estudio, contiene manzanas irregulares con predios de diferente tamaño, prevaleciendo grandes predios con edificios aislados, y conformando paramentación discontinua. La R. E. Sanceau forma parte de una via urbana que llega hasta la R. Ló Ferreira pasando por las R. Sao Gens, Estacion Velha, Sobreiro Av. Vasco de Gama, Sendi y A. Cunha hastahasta llegar a la R. Ló Ferreira		 Construcción paramentada	 Construcción paramentada	 Construcción Aislada y paramentada	

Figura 38 Análisis morfológico funcional R Elaine Sanceau. Fuente: Elaboración Propia con imágenes google earth y CCM. 2023

FORMAS Y DISTRIBUCIÓN DEL ESPACIO EN RUA ÁLVARO CASTELOES Y LÓ FERREIRA

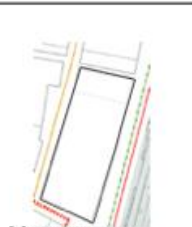
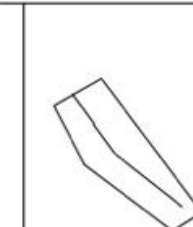
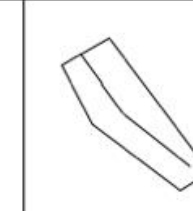
FORMAS DE OCUPACIÓN DEL CONTEXTO			Área de estudio: 3. R. Casteloes y Ló Ferreira	
Localización	Forma de Manzanas			La morfología de las bloques en esta área de estudio responde a un trazado en malla de manzanas rectangulares. Y predios pequeños en su mayoría de viviendas unifamiliares
	 Manzana rectangular	 Manzana Trapezoidal alargada	 Manzana irregular	
Ocupación	Formas de predio			La división predial presenta unidades regulares con subdivisiones rectas. En general son predios estrechos con retroceos posteriores que hoy han sido ocupados, dejando poco espacio a la impermeabilización
				
 Esta Área de estudio esta localizada cercana al puerto en la Freguesia de Matosinhos y Leça Palmeira. Su morfología corresponde a una malla regular con manzanas alargadas y paramentada. Hacer parte de una malla ortogonal. Y forma un angulo entre la Ló Ferreira v la R. Alvaro Casteloes.	Formas de ocupación			Este sector de estudio tiene un alto porcentaje de ocupación del predio en general. Y con pocas areas libre. Su paramentación siempre es continua
	 Construcción paramentada	 Construcción paramentada	 Construcción paramentada	

Figura 39 Análisis morfológico funcional R Alvaro Casteloes y Ló Ferreira. Fuente: Elaboración Propia con imágenes google earth y CCM. 2023

En los tres estudios de caso se presenta un nivel de consolidación del tejido urbano, el más consolidado es el sector de las calles Álvaro Casteloes y Ló Ferreira, sin embargo, todos presentan un nivel alto de continuidad en la paramentación; en los casos de viviendas aisladas, los muros que separan los antejardines del andén se comportan como linderos con paramentación continua. Así, la mayoría de los bordes de las calles analizadas funcionan como canales que conducen los flujos de agua. Estas calles bajan hacía el centro y sus registros de inundaciones responden a que se comportan como canales. En la mayoría de los casos las bajantes de aguas lluvias de las cubiertas botan sus aguas directamente sobre los andenes, lo que se considera un factor potenciador de encharcamiento.

RECORRIDOS DE AGUA

El shapefile, proporcionado por CMM, contiene información documentada de sectores donde se identifican reiteraciones de casos de inundaciones urbanas. Con esta información fue posible localizar los puntos recurrentes de inundación y enriquecerla con la información obtenida en los archivos de periódicos, donde las noticias de los acontecimientos de inundación en el sector de Matosinhos tenían diferentes grados de precisión en la descripción y niveles variados de información. De este modo ha sido posible elegir los casos trabajados. Como se expuso en la metodología, se trabajó con tres áreas de caso.

Cada área de estudio se presenta en un cuadro independiente:

En cada una de las áreas de estudio se identificó la dirección de la pendiente de la vía y los sumideros de la calle en donde se encuentra la mayor cantidad de inundaciones.

ESTUDIO DE CASO AVENIDA CONDE.

En ella Figura 38 se muestra el sentido del flujo del escurrimiento de agua pluvial sobre la Avenida Conde. La gráfica está organizada en dos columnas. La columna de la izquierda muestra la localización de la Avenida Conde en la trama urbana de Matosinhos; se acompaña de cuatro fotografías que muestran los sitios donde reiteradamente han sido reportadas inundaciones, y, se complementa con las convenciones de la información contenida en la columna derecha. La columna derecha la componen dos esquemas analíticos gráficos; el primero es la imagen del sector próximo a la Avenida Conde sobre la cual se elabora el esquema de los vectores de inclinación de la vía, determinando el encauzamiento por donde fluye el agua lluvia durante los eventos pluviales. El vector principal lo constituyen tres tramos de la Avenida Conde, que actúa como corredor principal de la cuenca, a la que se unen corrientes menores, de las calles que cruzan la Avenida, que suma agua al volumen que fluye sobre la Avenida Conde. Se esquematiza el sistema vial que temporalmente asume la condición de cuenca urbano-hidrográfica. Allí, desde la parte alta de la Avenida Conde fluye el caudal inicial se enriquece a medida que desciende la vía y recibe los aportes de agua de las calles menores, como afluentes, que suman sus aguas recogidas al caudal principal de la Avenida.

Estudio de caso Avenida Conde



Av. Conde 6784



Av. Conde 5916



Av. Conde 6047



Sentido de flujos de aguas lluvias



Fuente: Elaboración propia a partir de Google earth 2023

Figura 40 Sentidos de flujos de agua afluentes y Efluentes y lugares de convergencia de dichos flujos. localización de puntos de inundación y sumideros en la Avenida Conde. Fuente: Elaboración propia a partir de google earth y datos de inundación, 2023

En la parte baja de la columna derecha del gráfico, se presenta un corte axial de la Avenida Conde donde se localizan los puntos reiterados de inundación (círculos con color azul), allí se perciben accidentes topográficos, irregularidades en el descenso de la vía, formando plegaduras convexas, donde por cambios de velocidad y condiciones de gravedad se acumula agua, la cual se manifiesta en apozamientos temporales que afectan las actividades urbanas. En resumen, el volumen de agua lluvia que recibe el sector de la vía y el líquido acumulado en sus áreas aferentes, reunidas en su desplazamiento hacia niveles bajos, al tener una pendiente con variaciones en su plano de recorrido, genera retenciones temporales de agua lluvia.

Como se muestra en el esquema, a lo largo de la Avenida se cuenta con un sistema de drenaje, compuesto con sumideros a nivel de la superficie del borde de la vía que conducen el líquido a una tubería soterrada. Se han identificado diez y ocho rejillas de sumidero, la mitad de ellos confrontados a lado y lado de la vía. No obstante, el sistema de drenaje no responde a cada una de las circunstancias de los cambios de pendiente

de la vía, o, debido a falencias en el mantenimiento de las rejillas, las cámaras y las conexiones a la tubería de conducción de las aguas lluvias, retrasa el desplazamiento del volumen de agua y genera, en las plegaduras de la pendiente en descenso, los encharcamientos que han sido denunciados reiteradamente por las instituciones y la ciudadanía, a través de los informes de bomberos y las noticias de los diarios locales. Es evidente que la condición de impermeabilidad de la vía y el funcionamiento deficiente de los elementos de drenaje de las aguas lluvias son causas de encharcamientos. No hay elementos de mitigación de flujo adicionales, canales de distribución lateral de partes del caudal que procuren ser absorbidas en zonas verdes cercanas y permeables.

El conjunto de calles que conducen agua a la Avenida Conde está inscrito en la secuencia articulada de vías, que desde el nivel más bajo, desde el cruce de la Rua Cmt. Qhelhas Lima, en el sentido de las manecillas del reloj, lo conforman: la Rua Cmt. Qhelhas Lima, Rua Dr. Sá e Melo, Rua de Santos Dias, Largo da Cruz, Av. Mal. Gomes da Costa, Rua José Coutinho, Rua Cidreira. En el esquema se destacan dos calles transversales: Rua da Concepción y Rua Godinho de Faria. A lo largo de la Avenida se destaca dos cruces: La Avenida Conde con la Rua da Concepción y el cruce Avenida Conde con Godinho de Faria.

CASO RUA ELAINE SANCEAU, PROLONGACIÓN DE X. GUSMÃO.

Como en el caso de la Avenida Conde, la grafica está compuesta por dos columnas. La columna de la izquierda muestra la localización de la Rua Elaine Sanceau, donde se destacan los puntos de casos de inundación registrados, en la trama urbana de ese sector en Matosinhos. La Figura 39 se acompaña de seis fotografías que muestran los sitios donde reiteradamente han sido reportadas inundaciones, y, se complementa con las convenciones de la información contenida en la columna derecha. En las fotografías se evidencia que hay un borde discontinuo de edificaciones de cinco o más niveles, lo que da como resultado una serie de corredores de aislamiento espacial entre una y otra

construcción. La columna derecha del gráfico, la componen dos esquemas analíticos gráficos; el primero es la imagen del sector próximo a la Rua Elaine Sanceau, prolongación de la Rua X. Gusmão.

Estudio de caso R. Elaine Sanceau- Prolongación X. Gusmão

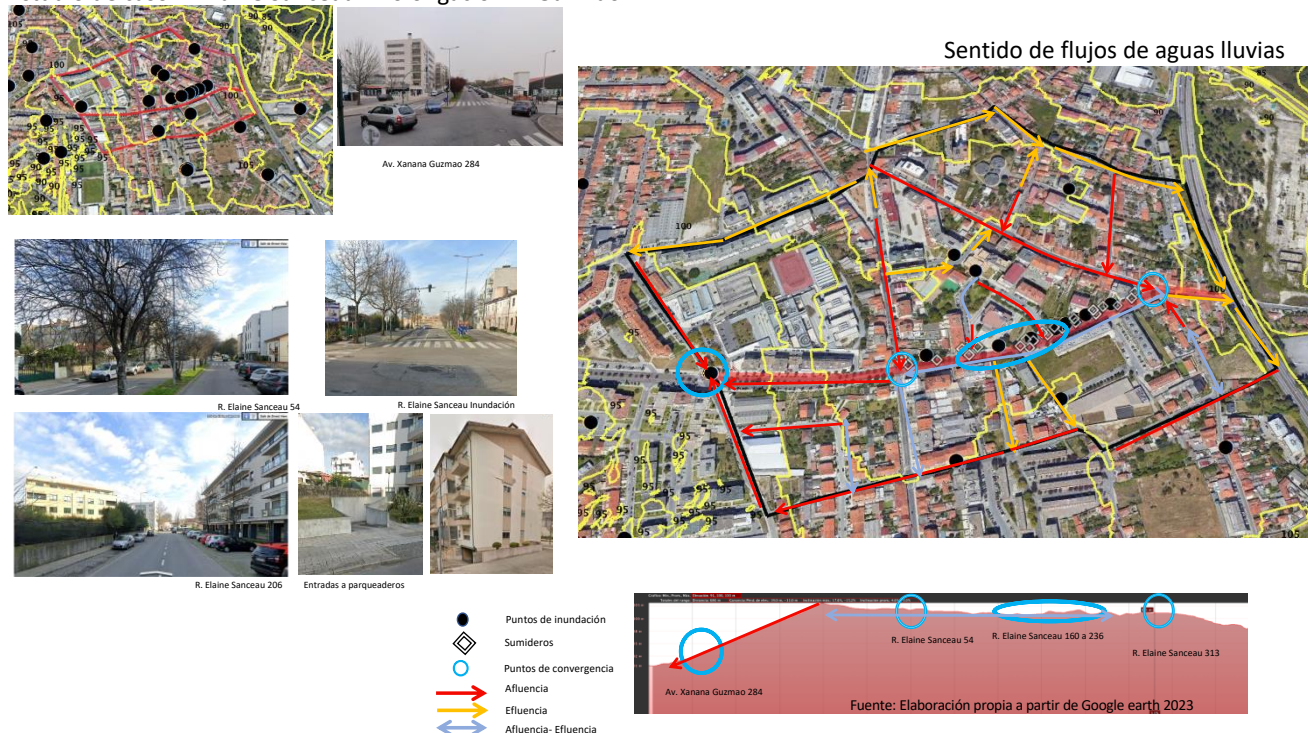


Figura 41 Sentidos de flujos de agua afluentes y Efluentes y lugares de convergencia de dichos flujos. localización de puntos de inundación y sumideros en la Rua Elaine Sanceau. Fuente: Elaboración propia a partir de google earth y datos de inundación, 2023

Sobre esa imagen se traza el esquema de los vectores de inclinación de la vía, determinando el encauzamiento por donde fluye el agua lluvia durante los eventos pluviales. La vía, en planta, es un arco suave que discurre como la Avenida Xanana Gusmão, que inicia en el cruce con la calle Rua dos Fogueteiros y se prolonga hasta el cruce con la calle Rua Monte da Mina y Rua Central do Seixo. En esta vía se contaron veinticuatro rejillas de sumideros de agua lluvia. En la parte baja de la columna derecha del gráfico, se presenta un corte axial de la Rua Elaine Sanceau.

En el perfil topográfico se localizan los puntos reiterados de inundación (óvalo y círculos con color azul), allí se percibe un flanco ascendente que llega a una meseta con

pendiente relativamente regular que desciende suavemente, en sentido contrario, hacia el sector posterior de la vía. Hay un parteaguas localizado en el primer tercio del perfil de la gráfica. Sobre la meseta se localizan tres sectores de inundación urbana recurrente y registrada. Al inicio del arranque del flanco inicial se localiza uno de los puntos de inundación. En sentido específico, son sucesos independientes, el punto bajo de inundación y la secuencia de tres casos de empozamiento de aguas lluvias sobre la meseta. El sentido inverso en la dirección de las escorrentías muestra la afectación producida por accidentes topográficos característicos en cada uno de los dos casos. En el arranque el punto de inundación corresponde a una plegadura localizada; sobre la meseta, la superficie ondulante, con baja pendiente, y la presencia de irregularidades en el descenso de la vía, da como resultado concavidades donde, por cambios de velocidad y condiciones de aumento de fricción se acumula agua, la cual produce encharcamientos temporales que se prolongan en el tiempo luego de ocurrido el suceso pluvial. En el sector que rodea a la Rua Elaine Sanceau, el tejido de la trama de calles es irregular. En la parte alta, a la derecha del esquema, priman sectores urbanos de traza triangular, Producidas por la convergencia de las calles radiadas que parten del cruce de la Rua Monte Da Mina y Rua Nova do Seixo; la curvatura de la Rua Elaine Sanceau parece tener su punto generador en ese cruce. En la parte baja de la Elaine Sanceau en la trama mantiene ritmos con regularidad relativa que responde a la suave topografía del sector.

ESTUDIO DE CASO RUA ÁLVARO CASTELOES Y RUA LÓ FERREIRA

Como en los casos anteriores, la Figura 40 está dispuesto en dos columnas. La particularidad de este tercer caso analizado, es que en la trama próxima se identifican dos lugares, separados, con sucesos de inundación urbana registrados. Se decidió integrarlos en una gráfica analítica dada la proximidad en la red vial de Matosinhos.

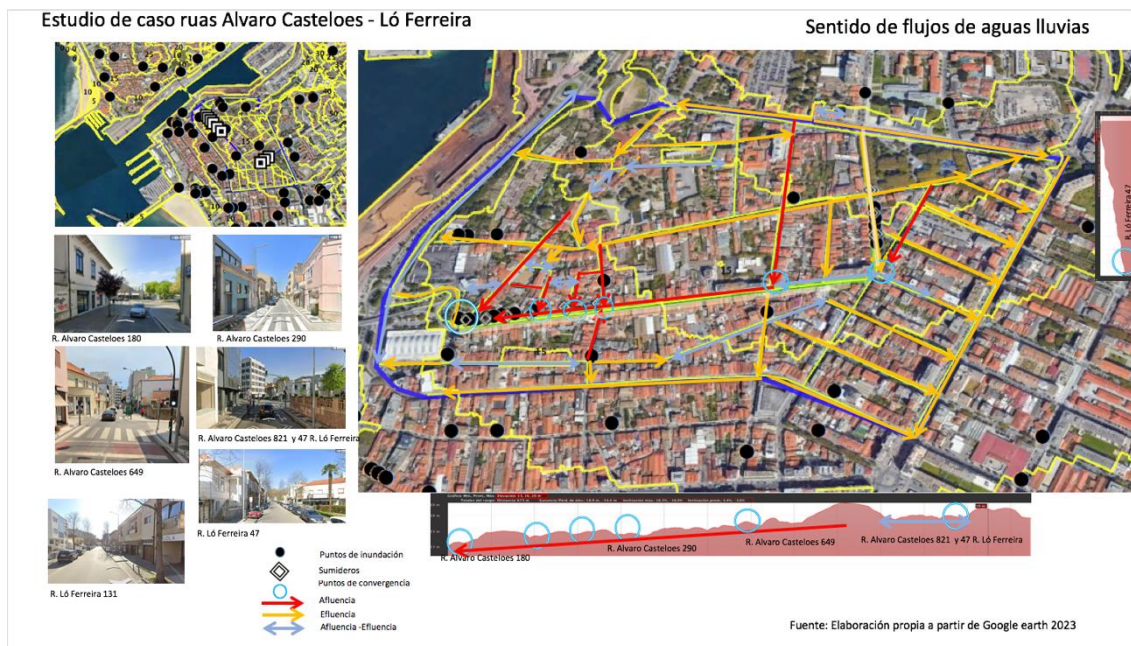


Figura 42 Sentidos de flujos de agua afluentes y Efluentes y lugares de convergencia de dichos flujos. localización de puntos de inundación y sumideros en las ruas Álvaro Castelões y Ló Ferreira. Fuente: Elaboración propia a partir de google earth y datos de inundación, 2023

La columna de la izquierda muestra la localización de las Ruas Álvaro Castelões y Ló Ferreira. En cada una de ellas se marcan con puntos negros los casos registrados de inundación urbana. La localización de las vías se acompaña de seis fotografías que muestran los sitios donde reiteradamente han sido reportadas inundaciones, y, se complementa con las convenciones de la información contenida en la columna derecha. Las fotografías muestran las condiciones urbanas por las que transitan las vías. Se evidencian condiciones de borde urbano diferenciado. En la Rua Álvaro Castelões hay persistencia de bordes continuos. En contraste, las dos fotografías de la Rua Ló Ferreira muestran contrastes en la conformación de bordes y construcciones aisladas en los flancos de la vía. La columna derecha del gráfico, la componen tres esquemas analíticos gráficos; el primero es la imagen del sector próximo a las Ruas Álvaro Castelões y Rua Ló Ferreira, próximas pero dislocadas en términos del flujo de las aguas lluvias. Sobre la imagen del sector urbano se trazan los dos esquemas con los vectores de inclinación de cada una de las vías, determinando los encauzamientos por donde se desplaza el agua lluvia durante los sucesos pluviales. En la planta se muestra la red vial, en una

conformación de un sector urbano trapezoidal de la trama que está próxima a las instalaciones del puerto de Leixões. En la parte inferior y en el sector lateral de la columna derecha del gráfico se presentan los dos perfiles de las vías; en la parte baja, el perfil de la vía Rua Álvaro Casteloes; en el perfil lateral derecho, el perfil de la Rua Ló Ferreira. El perfil de la Rua Álvaro Casteloes muestra una pendiente ondulante con irregularidades en la superficie de la vía ascendente. En el último sector de la vía se observa un incremento en la pendiente, una pequeña cresta que sobresale sobre la línea normal de la pendiente en ascenso. Al inicio, en el pie de la pendiente se suceden cuatro casos registrados de encharcamiento, distribuidos en ritmo regular para las tres últimas. Al final del ascenso la vía llega a una corta meseta donde cambia el sentido de flujo de las aguas lluvias. En el perfil lateral, que corresponde a la Rua Ló Ferreira, el ascenso es más regular que en la Rua Álvaro Casteloes. Es una superficie con suaves ondulaciones, sin episodios de cambios particulares. El apozamiento registrado en la Rua Álvaro Casteloes se localiza en la plegadura al inicio del ascenso. En esta vía se identificaron diez y seis rejillas de sumideros de aguas pluviales.

En el caso de este par de vías, que corresponden a tramas y tejidos próximos, pero condicionados por sentidos de flujo de las aguas lluvias diferentes, permite dar ejemplo de la complejidad y las variaciones de trazado y trama vial que revela el seguimiento del flujo multidireccional de las aguas pluviales. Es una superficie continua con morfología tridimensional con ondulaciones marcadas en diversos sentidos. El flujo del agua lluvia transcurre en los intersticios vinculados por niveles bajos, que, con la acción de la fuerza de gravedad, impulsa el recorrido del agua hasta el nivel del litoral al occidente del Concelho de Matosinhos.

En términos generales, la comparación de los tres casos contemplados en esta tesis, demuestran la inevitabilidad de los encharcamientos en tanto no se integre el manejo de las escorrentías pluviales en una visión contemporánea e incluyente de factores ambientales del planeamiento territorial. La condición de permeabilidad o impermeabilidad son atributos relativos al manejo del territorio. La capacidad de absorción natural o las alternativas de manejo de volúmenes de agua en reservorios

localizados en zonas urbanas pertinentes, posibilitan el manejo del problema de las inundaciones urbanas en condiciones potenciales para la disposición de aguas necesarias en épocas secas. En términos de planeación hay escalas diferencias en la distribución de los volúmenes de agua dependiendo de la intensidad y duración de las lluvias. En pequeña escala, la cantidad de lluvia depositada sobre las cubiertas de las edificaciones y conducidas por canales y bajantes que vierten sus aguas sobre los andenes de las calles, impactan en términos significativos cuando se presentan vertimientos numerosos e importantes y si hay irregularidades notorias en las superficies de las calles adyacentes. Es el caso de los sucesos de encharcamiento en la Rua Ló Ferreira, donde sin ser una superficie de ondulaciones marcadas, ha sido reportada como lugar con sucesos reiterados de inundación. En la gran escala, como en el caso del sector de la Avenida Conde, donde la secuencia de calles relacionadas con la pendiente topográfica del sector urbano, generan volúmenes importantes de agua, producto de la agregación de las diversas corrientes que confluyen en el trayecto de descenso de nivel de las calles de ese sector del Concelho de Matosinhos.

IMPERMEABILIZACIÓN

El ordenamiento del territorio desempeña un papel crucial en la reducción de las inundaciones pluviales y en la gestión efectiva de las aguas pluviales en áreas urbanas. Una planificación adecuada puede ayudar a minimizar los riesgos de inundaciones y sus impactos negativos.

Las áreas permeables en las ciudades desempeñan un papel fundamental en la creación de entornos urbanos saludables, sostenibles y agradables para vivir. A medida que las ciudades crecen y se desarrollan, la necesidad de áreas verdes y permeables se vuelve aún más crucial. La falta de áreas verdes en las ciudades puede contribuir a acrecentar los problemas de inundaciones. Las áreas permeables, como parques, jardines y espacios abiertos con vegetación, desempeñan un papel importante en la gestión del agua de lluvia y en la prevención de inundaciones en entornos urbanos.

En este caso se trabajó con las tres áreas de estudio. Cada una de ellas responde a patrones diferentes de ocupación. En general las grandes manchas de los suelos permeables responden a aislamientos de la malla vial arterial o los espacios vacíos de gran tamaño con construcciones aisladas y en algunos casos a los solares de viviendas unifamiliares en franjas. No se aprecian grandes parques urbanos y los que se encuentran están permeabilizados dejando pocas áreas verdes como se observa en la Figura 41.

IMPERMEABILIZACIÓN ÁREA DE ESTUDIO: AVENIDA CONDE



Figura 43 Áreas permeables impermeables en área de estudio Avenida Conde. Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth 2023

En el caso de la Av. Conde, el área total de 25,92 hectáreas en donde 12,66% corresponde al área permeable como se observa en la Tabla 9. En la vía en donde se reportaron los puntos de inundación recurrentes se encuentra una tipología de construcción paramentada continua en la mayoría del tramo. Hacia el sur del área de estudio se observa unas casas unifamiliares con solares o huertas urbanas mayoritariamente hacia el interior del predio impidiendo visualizar su tratamiento.

Hacia el área norte se observa áreas de mayor permeabilidad respondiendo a patrones de vivienda en altura y lotes por desarrollarse.

Tabla 9 Porcentajes de área permeable – impermeables en Avenida Conde

AV. Conde		
	Area (ha.)	Porcentaje
Permeables	3,28	12,66
impermeables	22,64	87,34
Total	25,92	100

IMPERMEABILIZACIÓN ÁREA DE ESTUDIO RUA ELAINE SANCEAU

Las áreas permeables actuales en la Rua Elaine Sanceau responden a aislamientos del área de protección ambiental de la vía arterial hacia el occidente en donde también se encuentran áreas de desarrollo. Algunas manchas más pequeñas corresponden a los solares de viviendas unifamiliares y otras de las áreas permeables se observan en conjuntos de vivienda en altura como se aprecia en la Figura 42.



Figura 44 Áreas permeables - impermeables en área de estudio R. Elaine Sanceau. Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth 2023

Hay algunos edificios singulares que están rodeados por áreas verdes como se observa en la Figura 42. Para el área de estudio de la Rua Elaine Sanceau se puede observar en la Tabla 10 el área total es de 31,6 hectáreas de las cuales el área impermeable es de 25,57 hectáreas que corresponde a un 80,9% mientras que el área permeable es de 6 hectáreas correspondiente al 19,1%.

Tabla 10 Áreas permeables - impermeables en área de estudio R. Elaine Sanceau. Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earthe 2023

R. Elaine Sanceau		
	Area (ha.)	Porcentaje
Permeables	6,06	19,1
impermeables	25,57	80,9
Total	31,6	100

IMPERMEABILIZACIÓN ÁREA DE ESTUDIO RUA ÁLVARO CASTELÕES Y LÓ FERREIRA

Entre las tres áreas de estudio, el buffer creado para las vías Rua Álvaro Castelões y Ló Ferreira es el que menos áreas permeables presenta en el conjunto de las construcciones como se aprecia en la figura 43.



Figura 45 Áreas permeables - impermeables en área de estudio R. A. Casteloes - Ló Ferreira. Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth 2023

Ya que esta área está localizada cerca al mar y al puerto, es el más antiguo y por ende los niveles de consolidación es mayor. Pues como se observa hay manzanas que no poseen áreas permeables. Como se observa en la Tabla 11 el área total de este caso de estudio es de 55,6 hectáreas, es la mayor de las áreas estudiadas. El 90,16% del área es impermeable y tan solo el 9,8% el área permeable teniendo en cuenta que hay una gran área de protección ambiental de la vía arterial.

Tabla 11 Áreas permeables - impermeables en área de estudio R Álvaro Casteloes, Ló Ferreira. Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth

R. Álvaro Casteloes Ló Ferreira		
	Area (ha.)	Porcentaje
Permeables	5,47	9,84
impermeables	49,63	90,16
Total	55,6	100

Al frente a la sede de la Cámara Municipal se encuentra un parque rodeado de árboles con suelo impermeable. También se encuentran unas pequeñas franjas verdes longitudinales paralelas a la vía de los automóviles.

Entre los tres casos de estudio se observó que es poca la existencia de áreas permeables en Matosinhos. Con el tiempo se seguirán desarrollando las construcciones en las áreas que aún se encuentran vacías y se aumentará el porcentaje en la ocupación de predios impermeables en la malla urbana.

6. DISCUSIÓN

En el ámbito contemporáneo los problemas del crecimiento urbano impactan las condiciones del territorio y su entorno medio ambiental. Planear y construir ciudades capaces de mantener un equilibrio con los ecosistemas y el paisaje circundante es uno de los retos más importantes a los que se enfrenta la sociedad actual. El horizonte del cambio climático y los fenómenos ecológicos contemporáneos, que impactan las áreas urbanas, deben ser tratados de manera incluyente. Matosinhos no es la excepción; el ámbito geográfico, enmarcado entre el borde marino y las elevaciones topográficas que descienden al ritmo del flujo de las aguas que el río Leça aporta al Atlántico, ligeramente inclinado (con algunos accidentes morfológicos) y extenso, caracterizado por un relieve suavemente ondulado en el sector, es el caso analizado. La trama urbana de Matosinhos está superpuesta, engastada sobre la cuenca del río Leça y sus afluentes naturales o construidos, permanentes o temporales. Esa trama tiene como entorno determinante, activo, el sistema ambiental. La trama la determinan las construcciones urbanas y la cualifican los elementos de las estructuras verdes y la cohabitación de las faunas nativas. En esta tesis se considera central la relación, el doble impacto influyente, entre las condiciones pluvio-ambientales y el planeamiento del territorio.

Históricamente, el área urbana del Concelho de Matosinhos se desarrolló en consonancia con la estructura morfológica de la cuenca del río Leça y sus accidentes hidrogeográficos. En esta disertación se han adelantado análisis y comparaciones sobre documentación gráfica y digital. El resultado es la constatación de los periodos de crecimiento urbano, la consolidación de los sectores construidos, la transformación causada por los cambios de usos de algunas zonas que de industriales ahora ofrecen la posibilidad de integrar usos contemporáneos. La pregunta sobre la localización y la reiteración de inundaciones urbanas en Matosinhos, sobre argumentos geográficos, físicos y espaciales, ofrece respuestas que confirman los sucesos pluviales en la historia reciente de la ciudad. Es una respuesta que involucra el crecimiento urbano, la disminución de áreas verdes, los cambios de uso y el aumento en la impermeabilidad de

los suelos. Todos los factores considerados muestran relación directa con la ocurrencia de las inundaciones urbanas. Es una condición que se puede generalizar a todas las ciudades contemporáneas. La constatación y contraste general de las “causas” de las inundaciones urbanas abre paso a la pregunta sobre las posibles soluciones específicas al problema. En el caso puntual de Matosinhos, las normas, acciones, proyectos del Concelho, muestran la intención y voluntad planificadora institucional.

El tema de las inundaciones urbanas ya ha sido revisado en CMM desde su aspecto general. El paso siguiente, según lo desarrollado en esta tesis, es lograr un nivel de integración de la discusión de los problemas ambientales, que involucra la estructura hídrica, con los lineamientos que guían la labor de planificación del territorio. A la estructura tradicional de la labor de planificación se debe integrar, con fortaleza, los lineamientos actuales en términos ambientales y geográficos. Ante la certeza del cambio climático debe responderse con normas, argumentos y proyectos del cambio en la planeación urbana y territorial. Uno y otro cambio deben ser tratados en sus dimensiones programáticas y objetivas. Los planes y proyectos deben integrar consideraciones y variables con fundamento ambiental.

Al final de este trabajo se puede afirmar que los instrumentos aplicados al análisis general de los factores relacionados con las inundaciones urbanas, pueden ser afinados y complementados instrumentalmente para superar la etapa de comprobación de causas, para poder avanzar en propuestas de acción ante los sucesos pluviales. La solución a las inundaciones urbanas es el afinamiento de consideraciones urbano-ambientales, de carácter físico, que sirvan de manera específica a la solución funcional, práctica, de proyectos de conducción de corrientes de agua en detalle y respondiendo a los retos actuales. La complementación de los sistemas de drenaje actuales, con la elaboración y puesta en funcionamiento de reservorios diseñados para almacenar los excesos de la corriente de aguas lluvias, pueden ser utilizados en épocas secas para el riego de la vegetación urbana, y para ajustar el equilibrio de los niveles freáticos del sector urbano: es una de las posibilidades. La complementación del sistema de drenaje

con sumideros de fácil mantenimiento para lograr un tratamiento adecuado en épocas de lluvias.

El paisaje urbano, donde uno de los componentes son los elementos complementarios al sistema de vías, senderos, caminos, escaleras, se puede enriquecer con elementos funcional y estéticamente apropiados para el encauzamiento de las aguas que hoy producen las inundaciones urbanas. Los puntos críticos han sido indicados en esta tesis, la solución posible está vinculada a la planeación integral, urbano-ambiental, y al desarrollo de propuestas y proyectos que permitan transformar los problemas de la acumulación de aguas en la potencialidad de manejo, uso y beneficio que ofrece la administración adecuada de los excedentes de agua lluvia en los diversos sectores urbanos.

El Concelho de Matosinhos es una zona donde gran parte del tejido se ha realizado sin considerar los problemas de inundaciones. Gracias a los registros ofrecidos por la Cámara municipal de Matosinhos y por los estudios que se realizaron en esta tesis se pudo comprobar que hay zonas en Matosinhos que requieren de un prudente cuidado. La metodología discutida y propuesta para estimar las zonas de susceptibilidad de inundaciones fueron una herramienta útil para identificar el motivo por el cual se provocan las inundaciones. Sin embargo, para hacerlo más eficiente, en el futuro se podrían considerar otros factores, como el tipo de suelo, la cubierta vegetal, -por ejemplo- índices de vegetación de diferencia normal (NDVI) y la presencia y localización de información de drenajes pluviales que podríamos obtener de imágenes de satélite, para futuras intervenciones.

Gracias al análisis multicriterio, se pudo precisar que, la zona próxima al litoral tiene mayor probabilidad de inundaciones. Aunque, también se tiene en cuenta que al suroriente del área de estudio es donde hay mayor presencia de pendientes descendiendo hacia el nivel del mar. Debido a esto y por las pocas áreas permeables el agua de lluvia fluye hacia zonas deprimidas.

Los registros de inundaciones históricas respaldaron el estudio identificando que en áreas con mayor irregularidad de terreno puede llegar a presentar mayor cantidad de inundaciones y entre mayor sea la pendiente, el agua tomará mayor velocidad.

Al revisar los registros de inundaciones se identificó que la mayoría de las inundaciones con gran cantidad de sucesos han sido debido a la construcción de parqueaderos subterráneos en donde la rampa de entrada y salida para los carros se convierte en canal de acceso de la escorrentía; inundando estas zonas haciendo necesarios sistemas de bombas de extracción.

El segundo tipo de inundaciones que se encontró, fue en zonas en donde, hay declives en el terreno formando unas pequeñas concavidades de agua. Estas inundaciones están localizadas, en su mayoría, donde se presenta mayor distancia en la curva de nivel.

Con respecto a las variables con las que se trabajó, gracias a la accesibilidad de la información ofrecida por la CMM, fue posible trabajar con mayor eficiencia. No en tanto, para la variable de precipitación, se tuvo dificultades en obtener una información a la escala deseada. Esto es debido a que se trabajó con una plataforma global ya que no contaba con datos suficientes en el área de Matosinhos o la zona norte.

7. CONCLUSIONES

En esta tesis las conclusiones responden a los diferentes enfoques propuestos, producto de la investigación. Hay un enfoque general que responde a la revisión del estado del arte, donde la gradación entre visiones amplias, panorámicas, producen planteamientos sobre la impermeabilidad del suelo. Este incremento de la construcción urbana, con la consecuente deficiencia de áreas permeables, minimizan la absorción natural. Las visiones amplias son factores generalizables a las ciudades contemporáneas.

El enfoque específico en la ciudad de Matosinhos, comparte aspectos del problema global de las inundaciones urbanas y enfatizan particularidades que proceden de la conformación histórica del desarrollo del conjunto urbano, de sus especificidades en los atributos geográficos, topográficos, hidrográficos, antrópicos, bióticos, sociales y ambientales. Las particularidades en el enfoque específico confirman las afectaciones pluviales globales y matizan los argumentos de la escala específica donde se consolida la ciudad de Matosinhos. Generalidades y particularidades de los ciclos de inundaciones urbanas pueden ser analizadas a partir del manejo de los SIG, descrito en la metodología aplicada en este estudio.

Hay también un enfoque que considera lo particular y lo general en procura de establecer la pertinencia en el planteamiento normativo y legislativo que puede hacer posible la inserción de condiciones ambientales, en nuestro caso específico las condiciones de las inundaciones pluviales urbanas, tratadas como factor importante en los procesos contemporáneos de planeamiento territorial. La acción posible de la CMM para próximo futuro, se centrará en superar formas de planificación tradicional para avanzar hacia propuestas de integración de factores, métodos y procesos que respondan a las incertidumbres evidenciadas por los problemas ambientales y sociales que hoy nos afectan en la cotidianidad.

Con lo propuesto en esta tesis se busca puntualizar la importancia de la planificación territorial sustentable comprometida con horizontes temporales a mediados del siglo XXI.

Al final de la investigación podemos dar una respuesta taxativa a las preguntas que se formularon al inicio de la investigación.

¿La relación entre el crecimiento urbano, la impermeabilidad del suelo y la densificación urbana son factores determinantes en los sucesos de inundación urbana?

Sí. Es por medio de las evaluaciones metodológicas, con el sistema de información geográfica, el análisis multicriterio o el análisis multitemporal de la transformación de ocupación del suelo o la forma de los casos de estudio, entre otras, que se puede confirmar esta relación.

Estos análisis permiten afirmar que la relación entre la permeabilidad del suelo y la impermeabilización, y la densificación urbana son determinantes.

La respuesta a la pregunta: *¿Es posible hacer una comparación por superposición de imágenes donde se determine el incremento de ocupación del suelo y, a partir de esa comparación, establecer la relación con el incremento o descenso de los sucesos de inundación urbana?*, la respuesta es afirmativa. Por medio del análisis multitemporal se obtuvieron mapas en 4 periodos diferentes en donde se trabajó con 4 clases de suelo. Se comprobó también por cada tipo de suelo su incremento o disminución en las clases de suelo y su relación con las inundaciones.

Para identificar el incremento y descenso de los sucesos de inundación pluvial urbana se hizo un análisis de coeficientes de impermeabilidad por cada periodo trabajado en la tesis para comprobar la capacidad del suelo de absorción. El plano muestra una agrupación de eventos de inundación correspondientes a las áreas con mayor densidad construida.

¿Es posible localizar los puntos de inundación recurrente, sobreponerlo a la trama de vías en imágenes de sectores urbanos y, a partir de su entrecruzamiento, analizar las particularidades de los vectores de inclinación de las vías, los sistemas de drenaje

superficial en áreas urbanas, la confluencia de corrientes en que los diversos niveles de pendiente se producen apozamiento, modificación de velocidad de desplazamiento del flujo de aguas, permanencia prolongada de humedad acumulada más allá de la duración del suceso pluvial?

Sí. Al rectificar los datos, las zonas con mayor reiteración de sucesos a través de los años fueron los casos de estudio. Se observó que hay un vínculo entre las tres áreas de estudios debido a la red vial. Pues entre estas áreas existe una integración continua donde se vinculan las corrientes de agua pluvial en las vías.

La localización de los sumideros en las vías estudiadas fue un dato específico que se tuvo presente. Sirvió para verificar la existencia de respuestas de la CMM, para afrontar las inundaciones pluviales.

Las áreas permeables que subsisten en los tres casos de estudio no presentan gran importancia a la comunidad de la zona. Son, mayoritariamente, áreas privadas como quintales o de lo contrario áreas públicas se encuentran los separadores del sistema vial. La mayoría de las áreas permeables se encuentra en zonas de reservas o de la estructura ecológica municipal. Dentro del área urbana denominada por la CMM como espacios centrales, no hay mayor presencia de áreas permeables integradas a los espacios urbanos.

En el desarrollo de esta investigación, dada la metodología, se presentaron conclusiones parciales capítulo a capítulo. Al final de este texto se han destacado las conclusiones más relevantes, dejando abierto el campo a nuevas lecturas, otros retos y otros investigadores, en un camino siempre abierto a nuevas cuestiones. Las alternativas para enfrentar las preguntas fundamentales a partir del SIG, con los rápidos avances en el mundo de lo digital, permitirá enfrentar el próximo futuro el tema de las inundaciones urbanas con mayor eficiencia al problema contemporáneo de planeación de las ciudades. Las respuestas y soluciones requieren conocimiento e ingenio. Lo alcanzado en esta tesis es solo un corto paso en la hipótesis que puede ser confirmado o refutado en otras investigaciones.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agência Portuguesa do Ambiente. (2015). *Plano de Gestão de Região Hidrológica*.
- Alcocer-Yamanaka, V. H., Rodríguez-Varela, J. M., Bourguett-Ortiz, V. J., & Llaguno-Guilberto, O. J. (2016). Metodología para la generación de mapas de riesgo por inundación en zonas urbanas. • *Tecnología y Ciencias del Agua*, VII(5), 33-55. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v7n5/2007-2422-tca-7-05-00033.pdf
- Alves, J. F. (2003). *Leixões: identidade e memória de um porto*. APDL.
- Alves da Silva, E. d. C. (2020). A 28 de maio de 1984 Matosinhos obteve a categoria de cidade. 1-129.
- AMPorto & Cibio. (2009). Rede de Parques Metropolitanos na Grande Área Metropolitana do Porto.
- Balsas, C. (2006). Evolución histórica de la planeación de ciudades en Portugal. *SCielo*, XXXII(98), 81-95. <http://dx.doi.org/10.4067/S0250-71612006000300006>
- Beja Inglez de Souza, D., & Tavares, A. (2020). Arquitetura da lata: matosinhos e a história atlântica da arquitetura das sardinhas. 27(51), 1-18. <https://www.revistas.usp.br/posfau/article/view/168263>
- Berrance, L., Quintão, J., & Mendes, R. (2019). *Plan Director Municipal- 2019*. Câmara Municipal de Matosinhos. <https://bibliografia.bnportugal.gov.pt/bnp/bnp.exe/registo?2100680>
- Câmara municipal de Matosinhos. (2015). Revisão Do Plano Diretor Municipal De Matosinhos De 1992. *CMM*, 1-322. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.cm-

matosinhos.pt/uploads/writer_file/document/10551/01_Relat_rio_Avalia__o_Execu__
o_PDM_Maio_2015.pdf

Câmara Municipal de Matosinhos. (2019). Classificação de interesse municipal. 1-124.

Canon-Barriga, C., Bogardi, J., & Tischbein, B. (2022). Prioritizing neighborhoods for intervention to mitigate urban small disasters triggered by rainfall. *Urban Water Journal*, 1(1), 1-10. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2022.2026981>

Carvalho de Oliveira, A., Oliveira, N., & Barão, F. R. (2022). *Arquitetura Urbanismo. Divergência e convergência de perspectivas*. Atena. <https://doi.org/10.22533/at.ed.179222704>

CEPAL & Naciones Unidas. (2014). *Manual para Evaluación de Desastres*. Jica.

Chen, Y. (2022). Flood hazard zone mapping incorporating geographic information system (GIS) and multi-criteria analysis (MCA) techniques. *Journal of Hydrology*, 612(C), 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128268>

Choay, F. (2023). In *Dictionnaire de l'urbanisme, de l'aménagement, du logement et de l'environnement*. Presses Universitaires de France - PUF.

Climate Data. (2019). Climate Data. Retrieved 2022. <https://pt.climate-data.org/europa/portugal/matosinhos/matosinhos-882476/#climate-graph>

CMM. (2019). ESTRUTURA ECOLÓGICA MUNICIPAL DE MATOSINHOS - Relatório. *CM Matosinhos*. https://www.cm-matosinhos.pt/cmmatosinhos2020/uploads/document/file/7129/estrutura_ecologica_municipal__relatorio.pdf

CMM. (2022, August 17). *Planos de Urbanização*. CM Matosinhos. Retrieved August 22, 2023, from <https://www.cm-matosinhos.pt/urbanismo/planeamento-urbanistico-e-territorial/planos-de-urbanizacao>

comissão de coordenação e desenvolvimento regional do norte. (2023). Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte - Reserva Ecológica Nacional. Retrieved August 24, 2023, from <https://www.ccdr-n.pt/pagina/servicos/ordenamento-de-territorio/reserva-ecologica-nacional>

Cruz, E. E., Hernández, A. O., & Hernández, J. R. (2017). Neotectonic deformations in the fluvial relief of the Llanura Sur of Pinar del Río, Cuba. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 2017, 3-19. <https://doi.org/10.14350/rig.56388>

Decreto-Lei n.º 115/2010. (2010). *Diário da República*, 206.

Decreto-Lei n.º 80/2015. (2015). *Decreto-Lei n.º 80/2015, de 14 de maio*. Diário da República. Retrieved August 24, 2023, from <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/80-2015-67212743>

de Sousa Ribeiro, M. G. (2012). *Caracterização e Valorização de Serviços de Ecossistema no Apoio à Conservação e Gestão do Litoral de Matosinhos*. Faculdade de Ciencias.

Dias Valente, L. M. (2014). *Protagonismo do Vazio: A Urbanidade do Território*. Universidade da Coruña.

Direção Geral do Território. (2020). *Carta de Uso e Ocupação do Solo para 2018*. <https://www.dgterritorio.gov.pt/Carta-de-Uso-e-Ocupacao-do-Solo-para-2018>

Direção-Geral do Território. (2021). *Dados abertos*. DGT. Retrieved August 25, 2023, from <https://www.dgterritorio.gov.pt/dados-abertos>

Direção-Geral do Território. (2023). *Sistema de Gestão Territorial*. DGT. Retrieved August 24, 2023, from <https://www.dgterritorio.gov.pt/ordenamento/sgt>

Direção-Geral do Território- COS. (2022). *Dados abertos*. DGT. Retrieved August 25, 2023, from <https://www.dgterritorio.gov.pt/dados-abertos>

Dirección regional de agricultura y pesca del Norte. (2022, September 16). erran. Retrieved August 24, 2023, from <http://ran.drapnorte.gov.pt/index#inicio>

Directiva 2007/60/ce Del Parlamento Europeo Y Del Consejo. (2007).

JornalOficialdaUniãoEuropeia.

Di Salvo, C., Pennica, F., Ciotoli, G., & Cavinato, G. P. (2018). A GIS-based procedure for preliminary mapping of pluvial flood risk at metropolitan scale. *Environmental Modelling & Software*, 107, 64-84. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2018.05.020>

DRE. (2013). *Regime jurídico das autarquias locais - RJAL - Anexo I*. Diário da República.

Retrieved August 22, 2023, from <https://diariodarepublica.pt/dr/legislacao-consolidada/lei/2013-56366098-56359576>

Elkhrachy, I. (2015). Flash Flood Hazard Mapping Using Satellite Images and GIS Tools: A case study of Najran City, Kingdom of Saudi Arabia (KSA). *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 18(2), 261-278.

Faccini, F., Luino, F., Paliaga, G., Sacchini, A., Turconi, L., & Jong, C. (2018). Role of rainfall intensity and urban sprawl in the 2014 flash flood in Genoa City, Bisagno catchment (Liguria, Italy). *Applied Geography*, 98, 224-241. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2018.07.022>

Ferrari, A., Vacondio, R., & Mignosa, P. (2023). High-resolution 2D shallow water modelling of dam failure floods for emergency action plans. *Journal of Hydrology*, 618. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2023.105770>

Fick, S.E., & Hijmans, R.J. (2017). WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International journal of climatology*, 37(12), 4302-4315. <https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html>

- Gonçalves, P., Marafuz, I., & Gomes, A. A. (2014). Avaliação da perigosidade a cheias progressivas no vale do rio Leça, setor de Leça do Balio, Matosinhos. *U.Porto*, 1858-1862. <https://hdl.handle.net/10216/126922>
- Higueras García, E., & García-González, M. C. (2022). La investigación y la difusión del urbanismo ante los retos del VI congreso ISUF-H. Forma urbana y resiliencia: los desafíos de salud integral y el cambio climático. *Dialnet*, 142(1), 6-12. 10.20868/ciur.2022.142.4883
- Igamaot. (2022). *Reserva Agrícola Nacional (RAN)*. igamaot. Retrieved August 24, 2023, from <https://www.igamaot.gov.pt/reserva-agricola-nacional-ran/>
- Igamaot- REN. (2023). *Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte - Reserva Ecológica Nacional*. CCDR-N. Retrieved August 24, 2023, from <https://www.ccdr-n.pt/pagina/servicos/ordenamento-de-territorio/reserva-ecologica-nacional>
- INE. (2020). *Instituto Nacional de Estadística*. <https://www.ine.es/>
- Infraestrutura e habitação. (2022). Plano Ferroviário Nacional.
- Institut de prévention des sinistres catastrophiques. (2021). Gros plan sur les Types d'inondations. 1-22. https://www.iclr.org/wp-content/uploads/2021/07/ICLR_Flooding_F_2021.pdf
- Kamruzzaman, M., & Chowdhury, A. (2023). Flash flooding considerations aside: Knowledge brokering by the extension and advisory services to adapt a farming system to flash flooding. *Heliyon*, 9. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19662>
- Khosravi, K., Reza Pourghasemi, H., Chapi, K., & Bahri, M. (2016). Flash flood susceptibility analysis and its mapping using different bivariate models in Iran: a comparison

between Shannon's entropy, statistical index, and weighting factor models.

Environmental Monitoring and Assessment, 188(656).

Lei n.º 31/2014. (2014). *Lei n.º 31/2014, de 30 de maio*. Diário da República. Retrieved August 24, 2023, from <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/lei/31-2014-25345938>

Leonardo, F. (2010). Respuestas y propuestas ante el riesgo de inundación de las ciudades colombianas. *Revista de Ingeniería No. 31. Memoria: Innovación en métodos computacionales en la Universidad de los Andes*, 1(31), 145–150.

<https://doi.org/10.16924/revinge.31.14>

Liao, Y., Zhaoli, W., Xiaohong, C., & Chengguang, L. (2023). Fast simulation and prediction of urban pluvial floods using a deep convolutional neural network model. *Journal of Hydrology*, 624.

Liendro Moncada, J. V., & Ojeda, E. C. (2018). Aproximación al mapa de susceptibilidad a inundación en la cuenca del río Boconó, Estado Trujillo, Venezuela. *Terra Nueva Etapa*, XXXIV(55), 119-133. <https://www.redalyc.org/journal/721/72156172012/html/>

Madureira, H. (2016, March 29). *Os tempos dos rios e das cidades | Revista Convergência Crítica*. <https://periodicos.uff.br/convergenciacritica/article/view/36499>

Mahmoud, S. H., & Yew Gan, T. (2018). Multi-criteria approach to develop flood susceptibility maps in arid regions of Middle East. *Journal of Cleaner Production*, 196, 216-229. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.047>

Marafuz, I. (2011). Inundações urbanas e cheias progressivas em Arouca. Caso de estudo , Metodologias de Análise e Ordenamento do Território.

Marafuz, I., & Gomes, A. (2013). Identificação de locais críticos no escoamento superficial das áreas urbanas de Arouca e São João da Madeira: metodologia e casos de estudo.

U.Porto, 481-499. [https://repositorio-](https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/78033/2/77312.pdf?fbclid=IwAR21DlapuY-JATdul-kmSUC0z8HyLuzgjPJdUltbE3gpYKd-LnyQHx6Tz1k)

[aberto.up.pt/bitstream/10216/78033/2/77312.pdf?fbclid=IwAR21DlapuY-JATdul-](https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/78033/2/77312.pdf?fbclid=IwAR21DlapuY-JATdul-kmSUC0z8HyLuzgjPJdUltbE3gpYKd-LnyQHx6Tz1k)

[kmSUC0z8HyLuzgjPJdUltbE3gpYKd-LnyQHx6Tz1k](https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/78033/2/77312.pdf?fbclid=IwAR21DlapuY-JATdul-kmSUC0z8HyLuzgjPJdUltbE3gpYKd-LnyQHx6Tz1k)

Matosinhos, PO, PT · NaturaLista Mexico. (2017). NaturaLista Mexico. Retrieved August 21, 2023, from <https://www.naturalista.mx/places/18376>

Mendes, B. L. (2014). A transformação da malha urbana da freguesia de Matosinhos.

Faculdade de Ciência e Tecnologia, 1-150.

https://bdigital.ufp.pt/bitstream/10284/7489/1/TM_Bruno%20Mendes.pdf

Mendes, M. C. (2020). La geografía en la formación del arquitecto: el caso portugués.

Didáctica, 92-94.

Merz, R., & Blöschl, G. (2003). A process typology of regional floods. *Water resources research*, 34(12). 10.1029/2002WR001952

Miramontes Carballada, Á., & Sá Marques, T. (2016). Las áreas urbanas en la Península Ibérica.

Un ejercicio de delimitación. *Papeles de Geografía*, 62, 47-63.

[10.6018/geografia/2016/247681](https://doi.org/10.6018/geografia/2016/247681)

Munilla, N. (2022). Guía básica de AVES MARINAS del Parque Nacional de las Islas Atlánticas de Galicia y de las Rías Baixas. *Organismo Autónomo Parques Nacionales*, 1-98.

Nantes, E. A. (2019). El Método Analytic Hierarchy Process Para La Toma De Decisiones.

Repaso De La Metodología Y Aplicaciones. *Investigación Operativa*, XXVII(46), 54 -73.

O'Connor, J. E., & Costa, J. E. (2003). *Large floods in the United States: where they happen and why*. USGS. <https://doi.org/10.3133/cir1245>

- Ouma, Y. O., & Tateishi, R. (2014). Urban Flood Vulnerability and Risk Mapping Using Integrated Multi-Parametric AHP and GIS: Methodological Overview and Case Study Assessment. *water*, 6, 1515-1545. 10.3390/w6061515
- Paliaga, G., Faccini, F., Luino, F., Roccati, A., & Turconi, L. (2020). A clustering classification of catchment anthropogenic modification and relationships with floods. *Science of The Total Environment*, 740.
- Pedrosa de Sousa, A., & Pereira, A. (2006). Diagnóstico dos factores condicionantes da susceptibilidade face ao risco de inundação urbana no concelho de Matosinhos. *Territorium,, 13*, 35-51. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5773011>
- PROJECTOS de ligações ferroviárias entre o Porto e o porto comercial de Leixões.Desenho nº1 do "Projecto dos engenheiros A. Loureiro e Santos Viegas - variante nº2", 1907. Arquivo da Administração os Portos do Douro e Leixões
- Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*, 48(1), 9-26. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-I](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-I)
- Salar Cabrera, J., & Soo Lee, H. (2019). Flood-Prone Area Assessment Using GIS-Based Multi-Criteria Analysis: A Case Study in Davao Oriental, Philippines. *Water*, 11(11), 1-23.
- Santos, M., Bateira, C., Soares, L., & Hermenegildo, C. (2014). Hydro-geomorphologic GIS database in Northern Portugal, between 1865 and 2010: Temporal and spatial analysis. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 10(A), 143-152. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2014.08.003>

- Shafapour Tehrany, M., Pradhan, B., & Neamah Jebur, M. (2014). Flood susceptibility mapping using a novel ensemble weights-of-evidence and support vector machine models in GIS. *Journal of Hydrology*, 512, 332-343. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.03.008>
- Son, Y., Di Lorenzo, E., & Luo, J. (2023). WRF-Hydro-CUFA: A scalable and adaptable coastal-urban flood model based on the WRF-Hydro and SWMM models. *Environmental Modelling & Software*, 167. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2023.105770>
- Talukdar, S., Ghose, B., Salam, R., Mahato, S., Bao Pham, Q., Thuy Linh, N.T., Costache, R., & Avand, M. (2020). Flash flood susceptibility analysis and its mapping using different bivariate models in Iran: a comparison between Shannon's entropy, statistical index, and weighting factor models. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 34, 2277–2300.
- Tucci, C. (1997). Águas do Meio Urbano.
- Tucci, C. (2004). Inundaciones Urbanas. 53(1).
https://repositorio.aemet.es/bitstream/20.500.11765/14668/1/Boletin_OMM-53_1%285%29.pdf
- Velhas, E. (1991). *A Bacia Hidrográfica do Rio Leça* (1st ed., Vol. VII). Faculdade de Letras — Geografia. <http://aleph.letas.up.pt/index.php/geografia/article/view/7794>
- Vergara Tenorio, M. d. C., Ellis, E. A., Cruz Aguilar, J. A., Alarcón Sánchez, L. d. C., & Galván del Moral, U. (2011). La conceptualización de las inundaciones y la percepción del riesgo ambiental. *Política y Cultura*, 36, 45-69.
- Yang, Q., Zhang, S., Dai, Q., & Yao, R. (2020). Improved Framework for Assessing Vulnerability to Different Types of Urban Floods. *Sustainability*, 12(7688), 1-18.
<https://doi.org/10.3390/su12187668>

- Zêzere, J. L., Ramos Pereira, A., & Morgado, P. (2007). Perigos naturais em Portugal e ordenamento do território: e depois do PNPOT? *Universidade de Lisboa, Centro de Estudos Geográficos*, 529-542. <http://hdl.handle.net/10451/39435>
- Zhang, H., Zhang, J., Fang, H., & Yang, F. (2022). Urban flooding response to rainstorm scenarios under different return period types. 87. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104184>
- Zhang, W., Villarini, G., Vecchi, G. A., & Smith, J. A. (2018). Urbanization exacerbated the rainfall and flooding caused by hurricane Harvey in Houston. *Nature Limited*, 563, 384-388. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0676-z>
- Zhou, Q., Leng, G., & Huang, M. (2018). Impacts of future climate change on urban flood volumes in Hohhot in northern China: benefits of climate change mitigation and adaptations. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(1), 305-316. <https://doi.org/10.5194/hess-22-305-2018>
- Zilhão, A. (2009). Formaciación y Evolución del Centro de Oporto (1850-2001): Aproximación a un analisis transdisciplinar del centro urbano como hecho social total. *Ciudades* 12, 243-249.

Anexo 1 Itinerario de registros de inundación

ITINERARIO

2008

1.- 22 Setembro, 2008 10:03

Inundaciones en Oporto, Matosinhos y Maia

La intensa lluvia que se deja sentir desde primera hora de la mañana en el Gran Oporto está provocando inundaciones en Matosinhos, Oporto y Maia.

Según la noticia: *La situación más complicada se registra en Matosinhos donde los pedidos de ayuda no cesan. En esta zona hubo una inundación en un viaducto Senhora da Hora, que inmovilizó un automóvil con una familia adentro.*

«El viaducto frente a tierra firme estaba lleno de agua, tuvimos que quitar todas las canaletas, estábamos en la zona de Senhora da Hora», donde se realizó el mismo procedimiento, subrayó este funcionario, y agregó que la situación ahora está más tranquila.

En la noticia se precisa: *La situación más grave es en Matosinhos donde, según los bomberos locales, el teléfono no se detiene desde alrededor de las 8:30.*

Del mismo acontecimiento, la noticia comenta: *“En 20 minutos recibimos más de diez solicitudes de ayuda”, dijo una fuente de los Voluntarios de Leixões, refiriendo que la situación más grave fue una inundación que ocurrió en un viaducto de Senhora da Hora, que inmovilizó un vehículo con una familia adentro.*

2.- 23 sept 2008. Maisfutebol.ioi.pt

La situación más grave ocurrió en Matosinhos donde, según los bomberos locales, *"el teléfono no ha parado desde alrededor de las 08:30". «En 20 minutos recibimos más de diez solicitudes de ayuda», dijo a Lusa una fuente de los Voluntarios de Leixões, que señaló que la situación más grave fue una inundación ocurrida en un viaducto de Senhora da Hora, que inmovilizó un vehículo con una familia adentro.*

2011

26 de Outubro de 2011 às 19:25 cmjornal.pt.

1.- Tromba de agua provoca caos en los accesos al Puerto Grande

La noticia describe: *Un puente sumergido, varias calles cortadas, carreteras con más de un metro de agua y túneles completamente inundados son actualmente el escenario de muchas ciudades del norte del país, luego de una marejada que se inició alrededor de las 18:00 horas.*

En Matosinhos, el paseo marítimo, que conecta Lavra con Angeiras, está cortado y hay decenas de inundaciones. No hay reportes de lesiones.

27 Outubro 2011, 07:04

Inundaciones en el área de Matosinhos

La lluvia provocó inundaciones en el área de Matosinhos, provocando daños materiales. El comandante de los bomberos de Matosinhos-Leça da Palmeira, Fernando Machado, hace balance de Antena 1.

2013

29 mar 2013, 13:36

NoticiaLocalizada en: <https://maisfutebol.iol.pt/sociedade/cheias/mau-tempo-provoca-inundacoes-e-derrocada-em-matosinhos>

Mal tiempo provoca inundaciones y deslizamientos de tierra en Matosinhos

Al menos cuatro casas se inundaron y otra, vacante, se derrumbó en el municipio de Matosinhos, debido al mal tiempo, dijo a la agencia Lusa una fuente del Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Leça do Balio.

2015

16 jan 2015 13:45

La noticia informa: *Fuertes lluvias provocan caos en las calles de Oporto y Matosinhos*
La fuerte lluvia de este jueves provocó inundaciones en varias calles de Matosinhos. El tráfico era caótico en las principales vías de acceso a la ciudad de Oporto. Protección Civil pide a los conductores extremar las precauciones.

2016

10 de Janeiro de 2016, 15:02 Ana Cristina Pereira e Lusa

La noticia informa: *El día comienza con inundaciones en Matosinhos y Maia y termina con inundaciones en Porto, Gaia, Gondomar*

En la madrugada, hubo daños en decenas de viviendas y establecimientos comerciales en Matosinhos y Maia. Estaba previsto que, a más tardar, se produjeran inundaciones en Oporto, Gaia, Gondomar, Penafiel y Amarante.

El peor escenario ocurrió la noche del sábado al domingo, en el paseo marítimo. Un tornado se levantó en el mar y golpeó la parroquia de Lavra, en el municipio de Matosinhos. Hubo daños en techos, ventanas, canaletas y persianas. Los bomberos tuvieron que sacar a dos personas postradas en la cama de la casa. La casa, que sirve de domicilio a dos personas más, quedó temporalmente inhabitable.

No solo en Matosinhos hubo desesperación. La crecida del caudal del río Leça hizo inaccesible una casa en Águas Santas, en Maia, lo que obligó a un residente a ser rescatado durante la mañana. También se inundó el aparcamiento del centro comercial Maia Jardim.

11-01-2016 12:55 <http://www.ivar.azores.gov.pt/noticias/Paginas/20160111-mau-tempo-continete.aspx>

Açoriano Oriental, Diário de Notícias , Jornal de Notícias

La noticia informa: *El mal tiempo provoca inundaciones en Portugal continental*

En Matosinhos, el fuerte viento provocó daños en cerca de dos decenas de viviendas ubicadas en el barrio de Lavra. Según António Lima, adjunto del Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Matosinhos-Liça, los daños se produjeron principalmente en los techos, ventanas, canalones y persianas, manteniendo habitables todas las viviendas afectadas. Sin embargo, todavía en la misma parroquia, dos personas postradas en cama fueron evacuadas de su casa debido a las inundaciones.

2019

19 Oct 2019 JN "Maia e Matosinhos inundados, veja as imagens"

Según una fuente del Comando de Operaciones de Socorro del Distrito de Oporto (CDOS), se emitieron un total de 27 alertas por incidentes en ambas ciudades. "Se trata principalmente de inundaciones", dijo, sin dar más detalles, ya que el CDOS "aún espera el despacho de los medios" movilizados para las localidades.

Varias imágenes de los efectos causados por el mal tiempo están siendo difundidas en las redes sociales. En la Avenida Mário Brito, en Perafita, Matosinhos, las fuertes lluvias dificultaron mucho la circulación de automóviles.

19/10/2019 19:16

<https://www.tempo.pt/noticias/actualidade/chuvas-torrenciais-provocam-inundacoes-nos-distritos-de-braga-e-porto.html>

Según una fuente del Comando de Operaciones de Socorro del Distrito de Oporto (CDOS), se emitieron un total de 27 alertas por incidentes en ambas ciudades. "Se trata principalmente de inundaciones", dijo, sin dar más detalles, ya que el CDOS "aún espera el despacho de los medios" movilizados para las localidades.

Varias imágenes de los efectos causados por el mal tiempo están siendo difundidas en las redes sociales. En la Avenida Mário Brito, en Perafita, Matosinhos, las fuertes lluvias dificultaron mucho la circulación de automóviles.

30 de outubro de 2019 às 13:06

Las fuertes lluvias provocaron inundaciones y varios incidentes en el Gran Oporto Fuente de Bomberos de Porto dijo que hasta cerca de las 10:30 horas, y desde las 8:00 horas, los vehículos partieron por unas 20 ocurrencias, con varias solicitudes aún pendientes de ser resueltas.

Los bomberos de Matosinhos/Liça también dijeron que tenían "muchas salidas" debido a las inundaciones, especialmente en la vía pública.

2020

SIC Notícias 15.01.2020 08:08sicnoticias.pt

Inundaciones e inundaciones en Oporto, Matosinhos y Vila Nova de Gaia.

Solo durante la noche, el Comando de Operaciones de Socorro del Distrito de Oporto registró más de 40 incidentes debido al mal tiempo.

2021

DN/Lusa 25 Setembro 2021 — 11:27

La circulación del metro de Oporto ya se ha restablecido tras la inundación. La vía se inundó en el viaducto del Hospital Pedro Hispano, en Matosinhos.

La circulación en la Línea Azul (Estádio do Dragão/Senhor de Matosinhos) del metro de Oporto, que este sábado por la mañana estaba interrumpida entre el Hospital Pedro Hispano y el Estádio do Mar, en Matosinhos, ya fue restablecida, informó la empresa.

La circulación fue interrumpida debido a una inundación en el viaducto del Hospital Pedro Hispano, Matosinhos.

2022

Octubre 19, 2022 10:20 <https://noticiasprimeiramao.pt/2022/10/19/>

Meteorología: el mayor número de ocurrencias ocurrió en Porto, Gaia, Matosinhos, Vila do Conde y Póvoa de Varzim.

Según el CDOS, la mayoría de las ocurrencias se registraron en Oporto, Vila Nova de Gaia, Póvoa de Varzim, Matosinhos y Vila do Conde, en un total de 15 solicitudes de ayuda.

TVSH 2022

Empeoramiento de la previsión de precipitaciones y vientos desde la tarde del día 15 hasta la madrugada del 16 de noviembre (2022)*

La Protección Civil de Matosinhos advierte a la población, según las previsiones del IPMA, de un empeoramiento de las precipitaciones y del viento, con aviso meteorológico amarillo previsto por precipitaciones persistentes ya veces intensas y viento fuerte con rachas de alrededor de 70 a 80 km/h en la franja costera, desde la tarde del 15 de noviembre hasta la madrugada del 16 de noviembre.

30 dez, 2022 - 21:40 • Lusa

Mal tiempo. Matosinhos cruza la calle junto al puente Ronfes, Leça do Balio y el corredor del río Leça.

La Protección Civil de Matosinhos procedió a cortar el tráfico de algunas arterias y lugares del municipio, debido al empeoramiento de las condiciones meteorológicas, anunció este viernes esta autarquía del distrito de Oporto.

"Cerradas al tráfico están la Rua Sousa Prata, junto al puente Ronfes, en Leça do Balio, parte de la vía Ribeira, en Leça da Palmeira, y la Rua das Cavadas, en Lavra", dijo la Câmara de Matosinhos en la nota de prensa.

El acceso al corredor del río Leça, en su totalidad en Matosinhos, también será cerrado debido a la crecida de las aguas y el consecuente desbordamiento de las riberas, agregó.

En Matosinhos, se canceló la fiesta prevista en la rotonda de la Praça do Eixo Atlântico, junto al puente móvil Leça da Palmeira, con música y fuegos artificiales.

También se desaconsejan los baños de mar tradicionales el 1 de enero, destacó también la Câmara de Matosinhos.

Anexo 2 Localización de los puntos de inundación y sumideros en cada area de estudio

Areas de estudio y su caracterización									
Calle	Dirección	punto	coord Nte	Coordenada O	Elevación	metros	Elavacion cel	Sumideros	Localiza sumi
Avenida Conde	6167	1	41° 11' 35.12'' N	8° 36' 43.75'' O	101	23	330	2	6263
	6163	2	41° 11' 35.04'' N	8° 36' 41.71'' O	100	37	320	1	6166
	6132	3	41° 11' 34.95'' N	8° 36' 44.60'' O	100	50		1	6132
	6053	4	41° 11' 34.49'' N	8° 36' 46.87'' O	100	55	320	2	6079
	6047	5	41° 11' 34.36'' N	8° 36' 47.69'' O	101	90		1	6047
	6013	6	41° 11' 34.19'' N	8° 36' 48.96'' O	99	115		2	5994
	5984	7	41° 11' 34.00'' N	8° 36' 50.23'' O	97	173		2	5994
	5947	8	41° 11' 34.15'' N	8° 36' 48.32'' O	96	208		2	5947
	5916	9	41° 11' 33.55'' N	8° 36' 52.58'' O	96	225		2	5921
	5876	10	41° 11' 33.33'' N	8° 36' 54.42'' O	98	250		2	5868
	5860	11	41° 11' 33.19'' N	8° 36' 55.29'' O	95	280		1	5847
Rua Alvaro Casteloes	369							1	369
	307							2	332
	290	1	41° 11' 11.08'' N	8° 41' 31.73'' O	13	16		2	290
	240	2	41° 11' 12.01'' N	8° 41' 32.8'' O	13	50		2	240
	221	3	41° 11' 12.57'' N	8° 41' 33.36'' O	14	35		3	229
	211	4	41° 11' 12.83'' N	8° 41' 33.66'' O	15	50	40	2	211
	202	5	41° 11' 13.15'' N	8° 41' 34.09'' O	15	63		3	202
	190	6	41° 11' 12.07'' N	8° 41' 33.19'' O	15	75			
	180	7	41° 11' 12.21'' N	8° 41' 32.97'' O	14	95		1	180
R. Lô Ferreira	164	8	41° 11' 12.28'' N	8° 41' 32.83'' O	15	128			
	39	1	41° 10' 57.69'' N	8° 41' 07.52'' O	20	29		1	622
	47	2	41° 10' 58.07'' N	8° 41' 06.87'' O	20	42		2	47
	59	3	41° 10' 58.07'' N	8° 41' 06.53'' O	19,75	53			
	61	4	41° 10' 58.26'' N	8° 41' 06.18'' O	20	70			
	79	5	41° 10' 58.64'' N	8° 41' 05.18'' O	19	76		2	70
	87	6	41° 10' 58.82'' N	8° 41' 05.48'' O	19	84			
	70	7	41° 10' 59.02'' N	8° 36' 41.71'' O	19	92			
A28	105	8	41° 10' 59.20'' N	8° 41' 07.7'' O	19	105			
								2	131
	A28	1	41° 10' 44.38'' N	8° 39' 24.09'' O	71	151			
	A28	2	41° 10' 44.48'' N	8° 39' 24.00'' O	70	141			
	IC1	3	41° 10' 44.96'' N	8° 39' 24.59'' O	70	128			
	IC1	4	41° 10' 45.20'' N	8° 39' 24.88'' O	71	119			
	IC1	5	41° 10' 45.44'' N	8° 39' 25.17'' O	71	113			
R. Elaine Sanceau	IC1	6	41° 10' 45.68'' N	8° 39' 25.46'' O	72	100			
	IC1	7	41° 10' 25.1529'' N	8° 39' 26.05'' O	72	84			
								2	48
	54	1	41° 11' 24.38'' N	8° 37' 55.83'' O	101	20	330	2	54
								2	84
	116	2	41° 11' 26.92'' N	8° 37' 49.69'' O	102	59			100
								2	136
								2	158
	176	3	41° 11' 27.41'' N	8° 37' 47.86'' O	102	70		2	160
	206	4	41° 11' 27.92'' N	8° 37' 46.51'' O	101	89		2	204
								2	206
								2	210
	253	5	41° 11' 27.94'' N	8° 37' 45.98'' O	101	101		2	236
	262	6	41° 11' 28.52'' N	8° 37' 44.96'' O	101	136		2	262
	266	7	41° 11' 27.29'' N	8° 37' 47.22'' O	101	181			266
	255	8	41° 11' 29.03'' N	8° 37' 43.62'' O			260	2	313