

2º CICLO DE ESTUDOS

[MESTRADO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA E ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO]

# **Plano Municipal de Arborização para o Município do Porto (componente de bioclimatologia) nas zonas XXI nº 1 e 2**

Cátia Sofia Azevedo Moreira

**M**

2021/2022





Cátia Sofia Azevedo Moreira

Relatório de estágio realizado no âmbito do Mestrado em Sistemas de Informação  
Geográfica e Ordenamento do Território, orientada pela Professora Doutora Ana  
Monteiroe pela Professora Doutora Helena Madureira

Faculdade de Letras da Universidade do Porto

2021/2022

# Sumário

Resumo.....	5
Abstract .....	6
Índice de Figuras .....	7
Lista de abreviaturas e siglas.....	8
1.Introdução.....	9
2.Metodologia e Resultados .....	10
2.1. TIN .....	12
2.2. MDT .....	13
2.3. MDS .....	14
2.4. Mapa exposição solar.....	15
2.5. Operações complementares .....	18
2.6. Modelos 3D do edificado.....	19
2.6.1. Construção de polígonos thiessen.....	19
2.6.2. Subtração do MDS/MDT.....	20
2.7. Sun Shadow Frequency .....	24
3.Considerações finais.....	31
Referências bibliográficas .....	33

## Resumo

Os espaços verdes são, indubitavelmente, das infraestruturas mais importantes em qualquer território. Outrora vistos como espaços dedicados a atividades recreativas, capazes de promover práticas de lazer e de um estilo de vida saudável, o conceito de espaços verdes tem sido amplamente debatido, à qual se assevera que estes podem ser considerados espaços multifuncionais, com excelentes benefícios quer para o Homem quer para o ambiente.

Num contexto de alterações climáticas, marcado por frequentes eventos extremos de calor e de frio, são já várias as evidências que nos demonstram que os espaços verdes, em virtude das suas características, podem ser elementos vitais na regulação das temperaturas e, por consequência, no conforto bioclimático. Assim, urge a necessidade de embargar novas reflexões acerca da sua importância no território, traçando estratégias que, a várias escalas, permitam a valorização e densificação destes espaços.

O município do Porto não é exceção à regra no que concerne às preocupações com os impactos das alterações climáticas no território e no conforto outdoor da população. Dispondo de mais de 455 hectares de espaços verdes de acesso público, o município tem unido esforços para “repensar a cidade”, contribuindo ativamente para a construção de uma cidade mais “verde” que permita adaptar o território aos impactos das alterações climáticas e mitigar as disfunções climáticas.

É com esta conceção pessoal dos espaços verdes que foi realizado o estágio curricular na FLUP I&D, cujo objetivo principal se prendeu à compreensão e análise do Plano de Arborização do Município do Porto nas Zonas XXI nº1 e nº2. Assim, procurar-se-á responder ao longo do presente à seguinte questão: onde será desejável arborizar e onde não é de todo recomendável?

**Palavras-chave:** Espaços verdes, Alterações Climáticas, Plano de Arborização, Conforto bioclimático, Modelos 3D.

## Abstract

Green spaces are undoubtedly one of the most important infrastructures in any territory. Once seen as spaces dedicated to recreational activities, able to promote leisure practices and a healthy lifestyle, the concept of green spaces has been widely debated, which asserts that they can be considered as multifunctional spaces, with excellent benefits for both man and the environment. In a context of climate change, marked by frequent extreme heat and cold events, there are already several evidences that show us that green spaces, due to their innate characteristics, can be vital elements in regulating temperatures and, consequently, in bioclimatic comfort. Thus, there is an urgent need to embark on new reflections about its importance in the territory, outlining strategies that, at various scales, allow the enhancement and massification of these spaces. The municipality of Porto is no exception to the rule when it comes to concerns about the impacts of climate change on the territory and the outdoor comfort of the population. With more than 455 hectares of green spaces of public access, the municipality has joined efforts to "rethink the city", actively contributing to the construction of a "greener" city that allows to adapt the territory to the impacts of climate change and mitigate climate dysfunctions. It is with this personal conception of green spaces that the curricular internship at FLUP R&D was carried out, whose main objective was the understanding and analysis of the Arborization Plan of the Municipality of Porto in Zones XXI nr. 1 and nr. 2. Thus, we will try to answer the following question: where is it desirable to plant trees and where is it not advisable at all?

**Key-words:** Green spaces, Climate Change, Afforestation Plan, Bioclimatic Comfort, 3D Models.

## Índice de Figuras

FIGURA 1 - DADOS FORNECIDOS PELA CM PORTO.....	11
FIGURA 2 - LOCALIZAÇÃO DAS ZONAS XXI NÚMERO 1 E 2.....	12
FIGURA 3 - PROCESSO METODOLÓGICO DA CRIAÇÃO DO TIN. ....	13
FIGURA 4 - PROCESSO METODOLÓGICO DA TRANSFORMAÇÃO DO TIN PARA RASTER. ....	14
FIGURA 5 - PROCESSO METODOLÓGICO DA CRIAÇÃO DOS MODELOS EXPOSIÇÃO SOLAR. ....	15
FIGURA 6 - PROCESSO METODOLÓGICO PARA ATRIBUIR NOVOS VALORES AO RASTER ORIGINAL. ....	16
FIGURA 7 - EXPOSIÇÃO SOLAR DO MDT E MDS, NA ZONA XXI Nº 1.....	17
FIGURA 8 - EXPOSIÇÃO SOLAR DO MDT E MDS, NA ZONA XXI Nº 2.....	18
FIGURA 9 - PROCESSO METODOLÓGICO DO RECORTE DOS RASTERS PELAS ÁREAS DE ESTUDO. ....	19
FIGURA 10 - PROCESSO METODOLÓGICO DA SUBTRAÇÃO DO MDS PELO MDT.....	21
FIGURA 11 - PROCESSO METODOLÓGICO DA TRANSFORMAÇÃO DO RASTER EM PONTOS. ....	22
FIGURA 12 - PROCESSO METODOLÓGICO DA SELEÇÃO DO EDIFICADO DE CADA ZONA XXI.....	24
FIGURA 13 - PROCESSO METODOLÓGICO DA CRIAÇÃO DE MODELOS DO SUN SHADOW FREQUENCY. ....	25
FIGURA 14 - SUN SHADOW FREQUENCY DO EQUINÓCIO DA PRIMAVERA, DA ZONA XXI Nº1. ....	26
FIGURA 15 - SUN SHADOW FREQUENCY DO SOLSTÍCIO DE VERÃO, DA ZONA XXI Nº1. ....	27
FIGURA 16 - SUN SHADOW FREQUENCY DO SOLSTÍCIO DE INVERNO, DA ZONA XXI Nº1.....	28
FIGURA 17 - SUN SHADOW FREQUENCY DOS EQUINÓCIOS, DA ZONA XXI Nº2. ....	29
FIGURA 18 - SUN SHADOW FREQUENCY DO SOLSTÍCIO DE VERÃO, DA ZONA XXI Nº2. ....	30
FIGURA 19 - SUN SHADOW FREQUENCY DO SOLSTÍCIO DE INVERNO, DA ZONA XXI Nº2. ....	31

## Lista de abreviaturas e siglas

FLUP I&D..... FACULDADE LETRAS UNIVERSIDADE PORTO  
INVESTIGAÇÃO E DESENVOLVIMENTO

SIG ..... SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

TIN ..... TRIANGULAR IRREGULAR NETWORKS

MDT ..... MODELO DIGITAL TERRENO

MDS ..... MODELO DIGITAL SUPERFÍCIE

MODELO 3D ..... MODELO TRIDIMENSIONAL



## 1. Introdução

O presente relatório foi realizado no âmbito da unidade curricular Estágio e Ordenamento do Território, do segundo ciclo de estudos do Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Ordenamento do Território e tem como principal objetivo analisar o Plano de Arborização do Município do Porto e a modelagem tridimensional (Modelos 3D).

O estágio curricular foi levado a cabo na FLUP Investigação e Desenvolvimento (FLUP I&D), instituição sem fins lucrativos, constituída por docentes, investigadores e estudantes de pós-graduação de instituições portuguesas de ensino superior, visando promover a investigação na área da Geografia e do Ordenamento do Território.

A pertinência do tema está, intrinsecamente, ligada aos desafios que têm vindo a marcar as cidades nas últimas décadas. Porém, já na primeira metade do século XIX, haviam sido realizados estudos do impacto das cidades nos microclimas, advertindo-se para o efeito das ilhas de calor. (Barry, R. G., & Chorley, R. J., 2009, p.406)

O crescimento da população conduziu, inevitavelmente, à proliferação das cidades, cujas políticas, até à bem pouco tempo, visaram a densificação do espaço artificializado. A construção massiva e desenfreada associada a um planeamento e ordenamento do território não havia considerado as especificidades do território, desencadeou, ao longo dos anos, vários problemas, principalmente na esfera climática. “A construção de cada casa, estrada ou fábrica destrói os microclimas existentes e cria novos microclimas de grande complexidade, que dependem do projeto, da densidade e da função da construção” (Barry, R. G., & Chorley, R. J., 2009, p.406)

Num contexto que vem sendo marcado pelas alterações climáticas, onde os episódios de eventos extremos de calor e de frio são já uma realidade frequente, com potenciais efeitos no conforto bioclimático, urge a necessidade de refletir a cidade, como já havia sido referido em 2015 pela Agência Europeia do Ambiente, “as cidades estão confrontadas com vários desafios em matéria de adaptação às alterações climáticas e a falta de conhecimento talvez seja o maior de todos”. Sendo assim, como podemos atenuar os problemas das cidades? Que cidade queremos ter? O que precisamos para as cidades?

Embora possa existir uma variabilidade de respostas para estes desafios, uma delas implica a adoção de medidas que visem a valorização dos espaços verdes que, dado às suas características inatas, poderão ter um importante papel “enquanto reguladores termo-higro-

anemométricos e sumidouros de poluentes atmosféricos”. (Monteiro, A., & Madureira, H., 2000, p.1) Assim, “aproveitar o poder da natureza nas cidades poderá ajudar a fortalecer a resiliência de bilhões de moradores urbanos às mudanças climáticas, proporcionando vários benefícios, como a purificação do ar e da água, a redução das necessidades de resfriamento, o acesso à natureza e à vida selvagem”. (UNEP, 2021)

O conhecimento empírico no que se refere ao comportamento da radiação solar e das singularidades do clima português assumem, para este caso, especial importância, uma vez que permitem ter uma conceção mais adequada do território e, em virtude disso, avaliar mais concretamente as necessidades de intervenção do mesmo. Estando o município do Porto a uma latitude de 41ºN, o efeito da latitude releva-se, considerando que na Zona Temperada o sol nunca está no seu zénite, havendo uma variação significativa da radiação solar por unidade de superfície. Em sequência disto, “o momento do ano é um fator que controla as quantidades de radiação solar, sendo recebida mais radiação no verão que no inverno, por causa da maior altura do sol e dos dias mais longos. A latitude é, então, muito importante, pois determina a duração do período diurno e a distância que os raios oblíquos do sol percorrem na atmosfera”. ((Barry, R. G., & Chorley, R. J., 2009, p.50)

Neste contexto, o ordenamento e subsequentemente o Plano de Arborização do município do Porto surge como estratégia aos desafios urbanos, prevendo-se a plantação de cerca de 10.000 árvores, que “terão como preocupação permanente contribuir ativamente para adaptar a cidade e a suas infraestruturas às alterações climáticas e mitigar as disfunções climáticas”. (CM Porto, 2022) Assim, emerge a seguinte questão e que será o mote para o que se pretende desenvolver futuramente: onde será desejável arborizar e onde não é de todo recomendável?

## **2. Metodologia e Resultados**

O estágio curricular na FLUP I&D implicou que se seguisse um processo metodológico muito específico e um tanto minucioso, constituído por uma série de etapas que se revelaram fundamentais à elaboração de um projeto SIG que permitisse, assim, cumprir com os objetivos traçados para este âmbito.

Tal como já foi referido, o projecto incidiu sobre o Plano de Arborização do Município do Porto nas Zonas XXI nº1 e nº2, importando, por isso, enquadrar a Zonas XXI. Mas afinal o que são as Zonas XXI? As Zonas XXI, segundo o Plano Diretor Municipal do Porto (PDM) são “áreas piloto,

que têm como objetivo principal a redução do espaço ocupado pelo automóvel, com a eliminação do estacionamento à superfície e a requalificação do espaço público (CM Porto, 2021). Por conseguinte, o PDM do Porto contempla um conjunto de propostas em vários âmbitos, entre os quais a valorização e densificação dos espaços verdes, prevendo-se, para isso, a construção de infraestruturas pedonais e cicláveis bem como a expansão da espécie arbórea nas Zonas XXI nº1 e nº2. **(Figura 2)**

De forma a construir um projecto SIG, cuja finalidade consistira na modelação tridimensional (modelos 3D), capaz de representar o mais fielmente possível as Zonas XXI nº1 e nº2, contou-se, numa primeira fase, com os dados fornecidos pela Câmara Municipal do Porto.

Os materiais disponibilizados **(Figura 1)** continham ficheiros em formato vetorial (shapefiles em pontos, linhas e polígonos), compilando informações relativas às cotas do edificado, das vias e dos passeios do município do Porto bem como a delimitação da área de estudo que permitiu, posteriormente, restringir os limites das Zonas XXI, designadas de nº1, nº2, nº3 e nº4. Desta feita, os dados cedidos foram, depois, sujeitos a uma breve análise, de modo a detetar eventuais lacunas e identificar possíveis elementos em falta. Validados os materiais, avançou-se para a fase mais importante do processo metodológico que consistiu na definição das peças a desenvolver no projecto SIG, e posterior tratamento, conversão e manipulação dos dados em software ArcGis Pro versão 2.8.

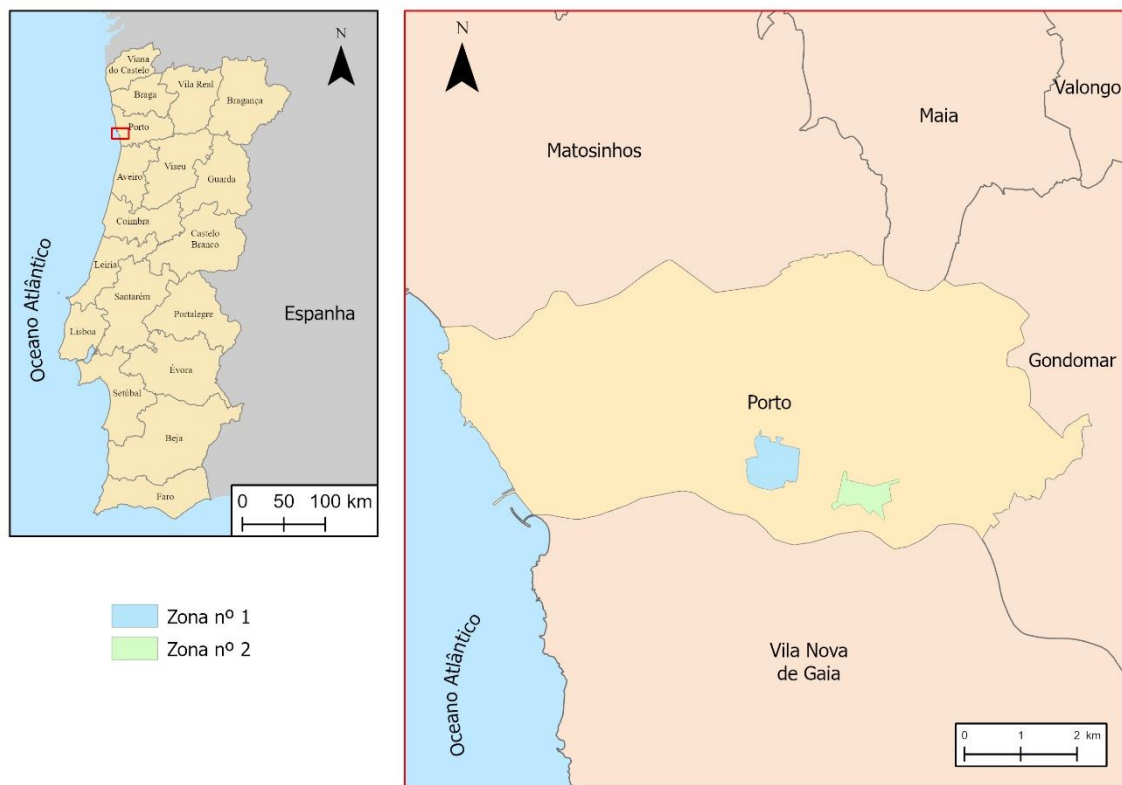
**Figura 1 - Dados fornecidos pela CM Porto.**

Contents	Preview	Description
Name	Type	
Altura_Mancha_Construida.shp	Shapefile	
Altura_Ruas.shp	Shapefile	
EDIFICADO_cmp.shp	Shapefile	
Ponto_Cotado.shp	Shapefile	
Porto_geom.shp	Shapefile	
Ruas_passeios.shp	Shapefile	
Vias.shp	Shapefile	
Zona1.shp	Shapefile	
Zona2.shp	Shapefile	
Zona3.shp	Shapefile	
Zona4.shp	Shapefile	

Numa última nota, importa salientar que a técnica metodológica levada a cabo teve como resultado final a construção de vários modelos, destacando-se a título de exemplo o *Triangular Irregular Networks* (TIN), o Modelo Digital de Terreno (MDT), o Modelo Digital de Superfície (MDS) e a exposição solar. Neste segmento, passaremos à conceptualização e explicação dos

processos que permitiram a construção dos modelos enunciados assim como à análise dos resultados.

**Figura 2 - Localização das Zonas XXI número 1 e 2.**



Fonte: CAOP, CM Porto

## 2.1. TIN

Os TINs surgem como uma das ferramentas mais utilizadas no mundo dos SIG, no que se refere à representação da morfologia da superfície, possibilitando, assim, ao utilizador modelar com maior precisão áreas com menor dimensão.

Segundo a ESRI, os TINs traduzem-se numa “forma de dados geográficos digitais baseados em vetores que se constroem a partir da triangulação de um conjunto de vértices (pontos), que depois são conectados com uma série de arestas para formar uma rede de triângulos”. (ESRI, 2021)

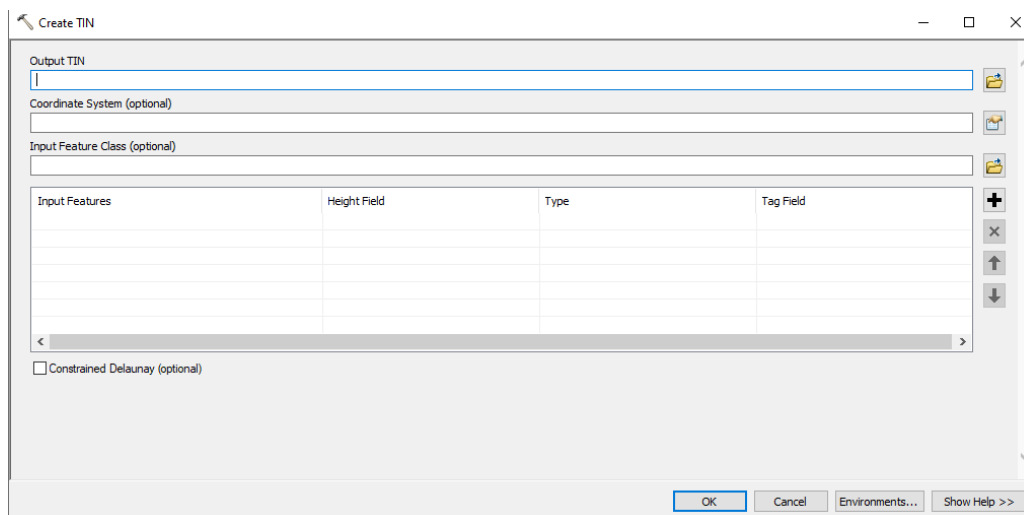
Numa linguagem mais simplista, os TINs são, concretamente, modelos digitais que se configuram numa rede de triângulos irregulares, resultantes da união de vértices com valores

da área que o utilizador deseja representar (entenda-se que os vértices ou pontos contêm valores e no processo de transformação estes mantêm-se no TIN).

Desmistificado o conceito dos TINs, importa realçar que este modelo digital, atendendo às potencialidades que alberga, foi dos primeiros elementos a ser estipulado no âmbito do projeto SIG a desenvolver, indicando-se, de seguida, os passos subjacentes à sua execução. **(Figura 3)**

- Adicionar shapefile com os pontos cotados do município do Porto;
- Abrir a barra do “Search” e escrever “Create TIN”;
- Aberta a janela do “Create TIN”, deverá seleccionar-se o output (a pasta onde o modelo ficará guardado);
- Inserir as shapefiles referentes às altitudes da área em estudo que, neste caso, designavam-se de “pontos cotados”;
- Agregar a shapefile por onde o TIN será cortado, cuja designação, para este projeto, era “Porto\_geom” e executar o modelo;

**Figura 3 - Processo metodológico da criação do TIN.**



## 2.2. MDT

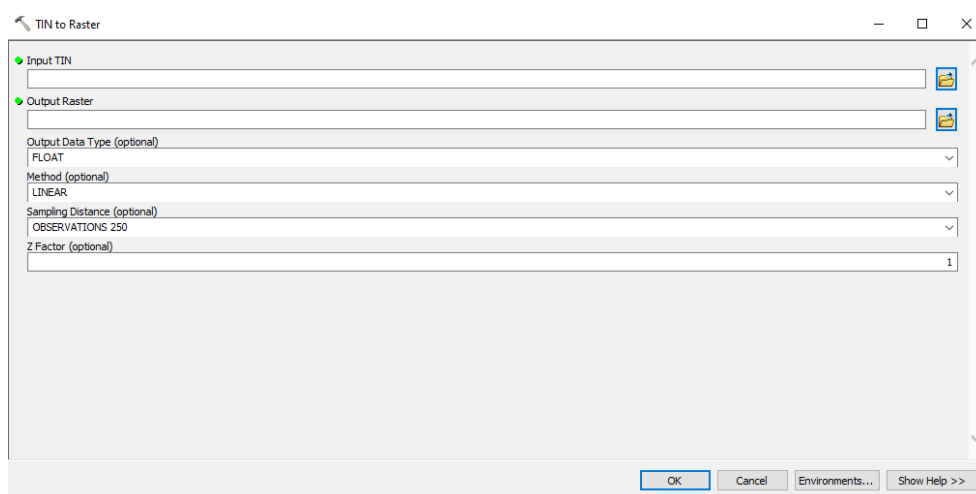
O Modelo Digital de Terreno ou Modelo Digital de Elevação é, de uma forma geral, uma representação da elevação do terreno, sendo definida, mais precisamente, como uma “representação matemática da distribuição espacial de uma determinada característica vinculada a uma superfície real”. (Zanardi, R. P., 2006, p.21). Assente numa estrutura matricial,

em semelhança com o Modelo Digital de Superfície, que será abordado mais à frente, o MDT apenas considera os valores do terreno, isto é, são descartados todos e quaisquer objectos que estejam acima do nível do solo, tais como árvores, edificado, entre outros.

Antes de avançar para a explicação propriamente dita da elaboração do MDT, importa realçar que, por opção, este modelo foi feito a partir do modelo TIN. (**Figura 4**)

- No “search” colocar “TIN to Raster”;
- Na opção “input” arrastar o ficheiro “TIN” previamente criado;
- Definir o “output” (a pasta onde se quer guardar o ficheiro);
- Na opção “sampling size”, eleger “cellsize” e colocar o valor 1;
- Para definir as classes (denote-se que a escolha das classes será feita de acordo com os critérios do utilizador), recorrer às “properties”, depois ao “symbology”, “quantities” e definir as classes.

**Figura 4 - Processo metodológico da transformação do TIN para raster.**



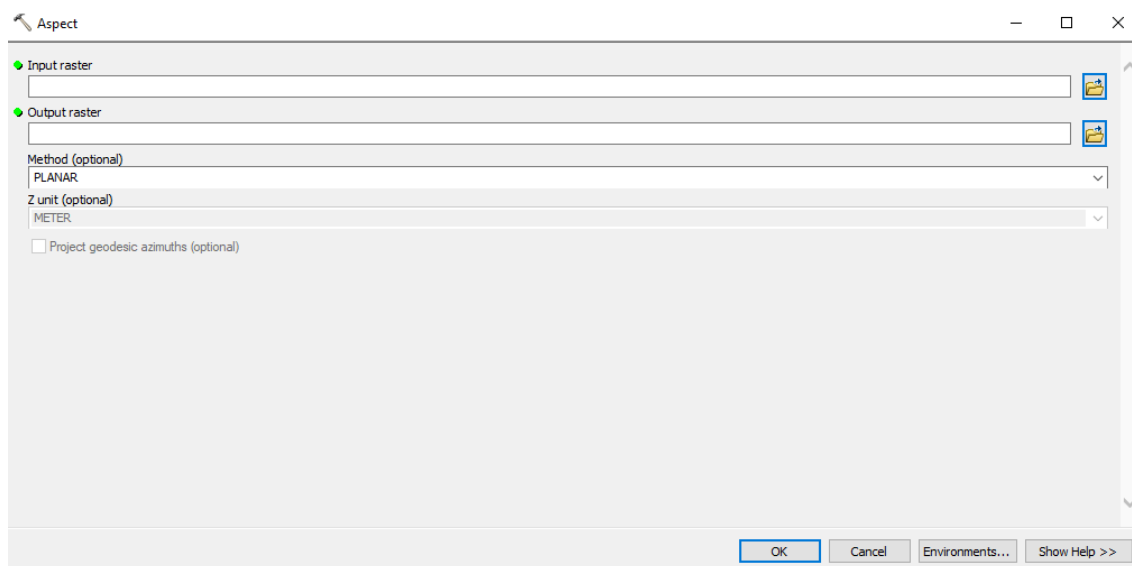
## 2.3. MDS

O Modelo Digital de Superfície apresenta-se muito similar ao MDT, tendo como finalidade a representação da superfície terrestre, sustentado em valores altimétricos. Porém, ao contrário do MDT, tem em conta todos e quaisquer elementos que se encontram ao acima do nível do solo, como é o caso dos espaços artificializados, naturais, entre muitos outros.

Antes da explanação do processo metodológico do MDS, importa referir que para a sua construção se utilizaram exatamente os mesmos procedimentos que no MDT. (**Figura 5**)

- Na opção “input”, aquando da criação do “TIN”, adiciona-se os ficheiros “Altura\_Mancha\_Construida” e “Alturas\_Ruas”;
- Recorrer ao “search” e colocar “TIN to Raster”;
- Definir o “output” e atribuir uma designação ao ficheiro;
- Na opção “sampling size”, eleger “cellsize”, colocar o valor 1 e executar o modelo;
- Para definir as classes, utiliza-se os mesmos procedimentos que no MDT (supraindicados).

**Figura 5 - Processo metodológico da criação dos modelos exposição solar.**



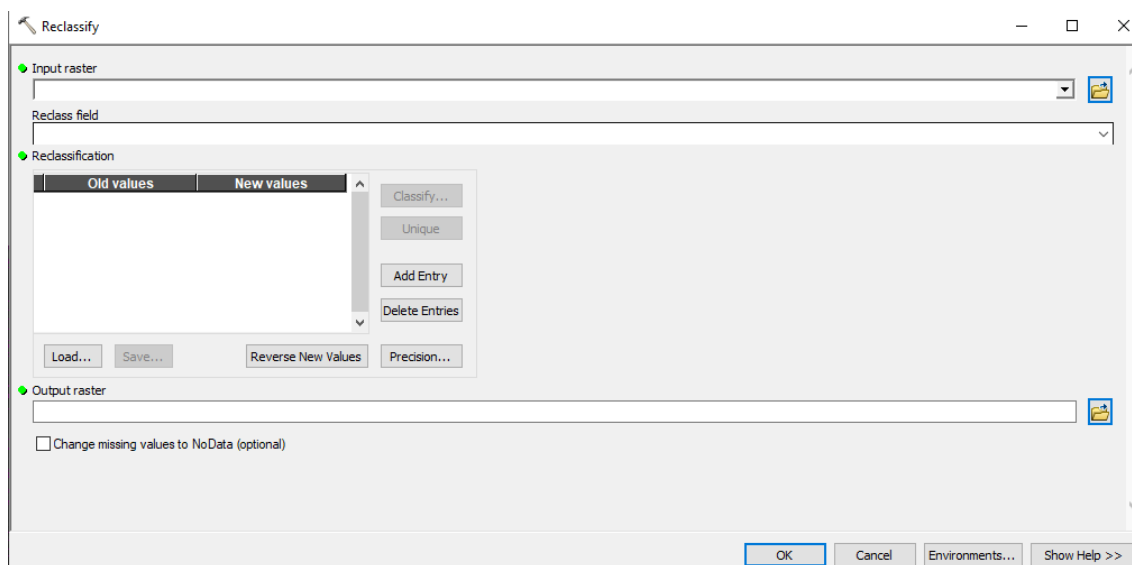
## 2.4. Mapa exposição solar

Para finalizar esta primeira parte do processo metodológico, procedeu-se à criação um mapa da exposição solar para o município do Porto, procurando-se, desta forma, compreender a orientação das vertentes e do edificado. Para isto, revelou-se estritamente necessário recorrer à ferramenta “Aspect” que, explicando de forma simplificada, nos demonstra a direção da inclinação solar, sendo medido no sentido horário em graus de 0 (norte) a 360 (novamente norte). **(Figura 6)**

- Utilizando a ferramenta “Aspect”, escolher o “Aspect 3D Analyst”;
- Selecionar o MDT e o MDS previamente criados no “input”;
- Definir a pasta e a denominação para o novo ficheiro e executar;

- De seguida, deverá estabelecer as classes, acedendo às propriedades do novo ficheiro;
- Para definir as classes procurar “reclassify”, seleccionando, depois, a opção “classify”, e alterando o número de classes para seis, sendo estes: -1 a 0° - Plano; 0° a 45° – Norte; 45° a 135° – Este; 135° a 225° – Sul; 225° a 315° – Oeste; 315° a 360° – Norte.

**Figura 6 - Processo metodológico para atribuir novos valores ao raster original.**



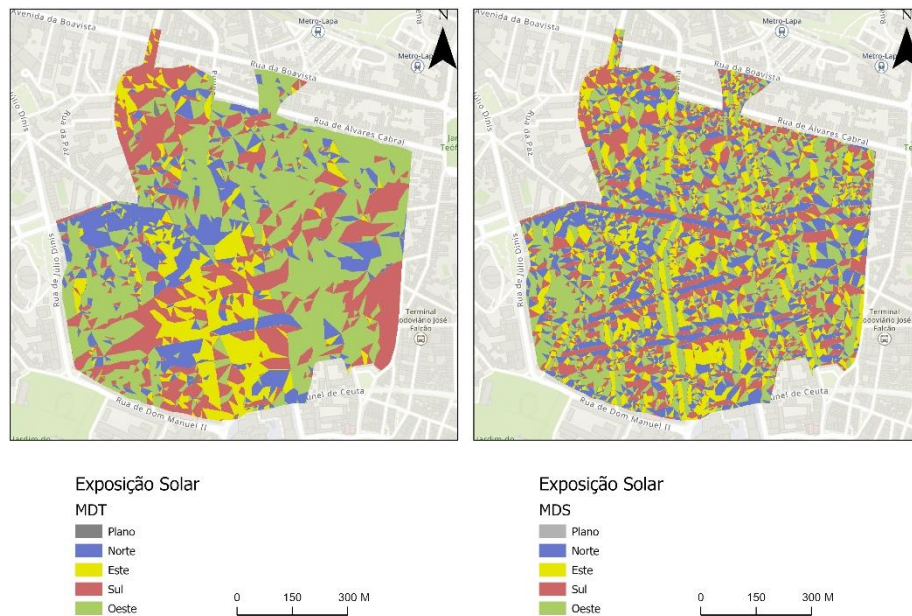
Num primeiro olhar, é patente as diferenças nos resultados da elaboração da exposição solar do MDT e do MDS, explicado pelas próprias características dos modelos. A exposição do MDT, indica que a Zona XXI nº1, compreendida entre Miguel Bombarda, Cedofeita e Carlos Alberto tem, aparentemente, um “equilíbrio” na distribuição da orientação das vertentes. No entanto, fazendo uma observação mais profunda, parece haver uma relativa sobreposição das vertentes orientadas a oeste e, em segundo plano, as de sul, o que permite afirmar que uma parte significativa da Zona XXI nº1 apresenta vertentes soalheiras, logo expostas ao sol. **(Figura 7)**

No plano da exposição solar do MDS, os resultados são um pouco mais difíceis de ler, uma vez que o MDS abarca não só os valores do terreno, como também todos os elementos que se encontram acima do nível do terreno, como por exemplo o edificado. O facto da mancha construída ser considerada, leva os resultados a esbaterem-se, sendo possível encontrar diferenças ínfimas em função da orientação do próprio edificado. Todavia, importa ressaltar que continua a ser possível atestar que a área de estudo tem uma predominância das vertentes voltadas a oeste e a sul.



Desta feita, é, ainda, possível fazer uma outra reflexão que se prende, mais precisamente, ao planeamento e ordenamento do território, onde, atendendo aos resultados obtidos, não era considerada a variável da orientação e as dinâmicas associadas, fruto da falta de conhecimento dos decisores políticos relativamente aos impactos da configuração do território.

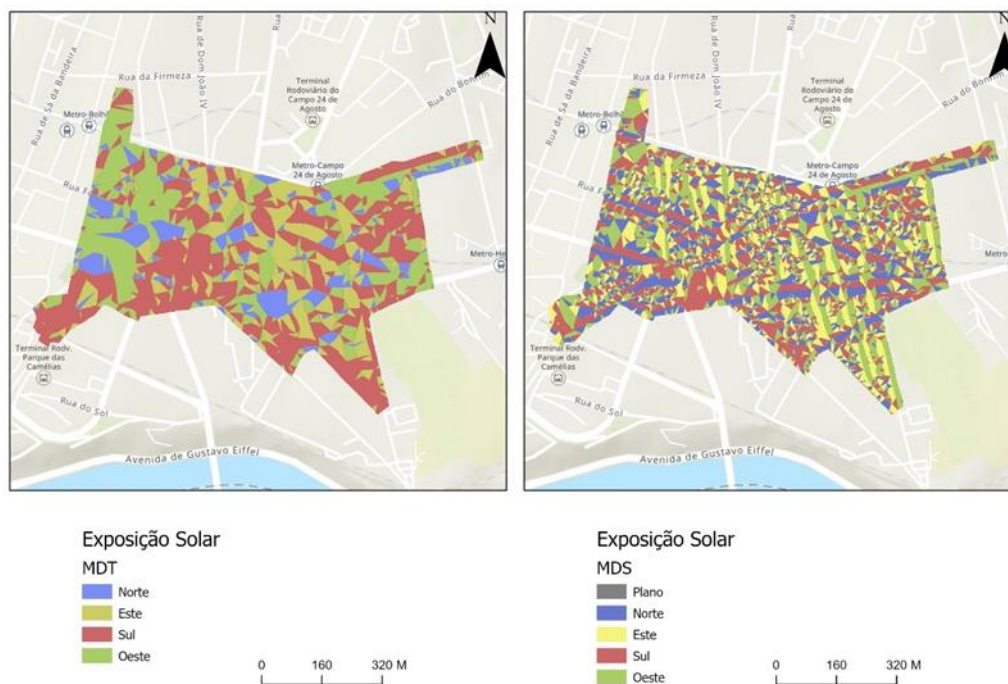
**Figura 7 - Exposição solar do MDT e MDS, na zona XXI nº 1.**



Fonte: CM Porto, Elaboração Própria

Relativamente aos modelos de exposição do MDT e do MDS da Zona XXI nº2, que abrange o Campo 24 de Agosto, Bolhão e a Batalha, os resultados assemelham-se aos das Zona XXI nº1, onde se denota uma presença muito significativa de vertentes soalheiras. (**Figura 8**)

**Figura 8 - Exposição solar do MDT e MDS, na zona XXI nº 2.**



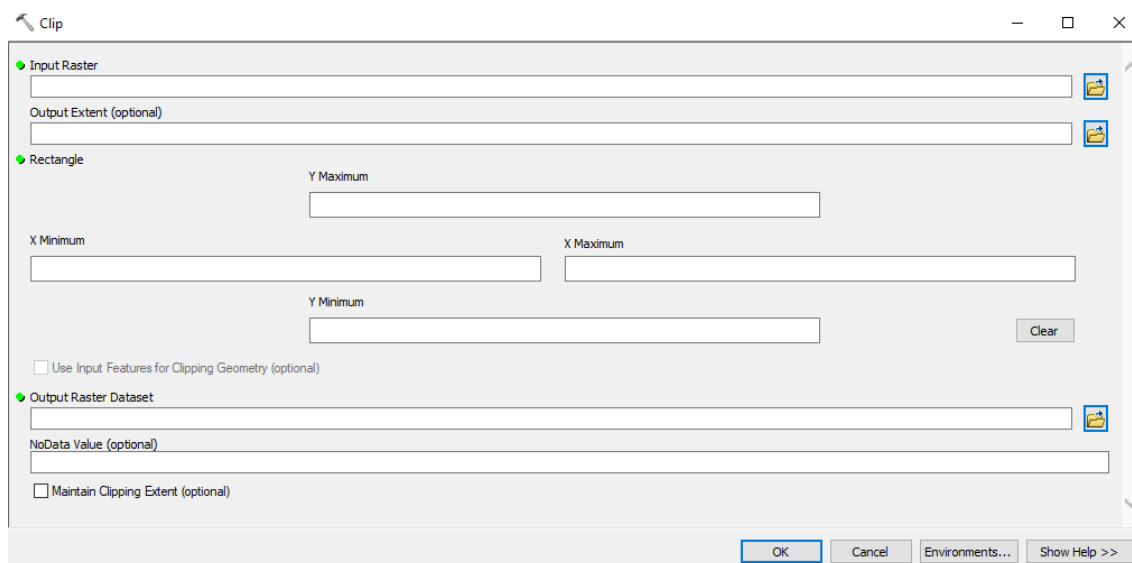
Fonte: CM Porto, Elaboração Própria

## 2.5. Operações complementares

Comum a todos os projetos SIG, existem alguns processos complementares que devem ser efetuados sempre em função dos objetivos do utilizador, à qual se inclui, para o caso, a delimitação dos modelos pela área em estudo. Para realizar este procedimento, recorreu-se à ferramenta “clip”, seguindo os respetivos passos (**Figura 9**):

- Procurar “clip raster” e escolher a opção “clip data management”;
- No “input features” deverá colocar-se os ficheiros raster já elaborados;
- No “output extent” seleciona-se o ficheiro utilizado para delimitar o raster que, para este caso foram as Zonas XXI nº1 e nº2, colocando um visto na opção “using input features for clipping geometry”;
- Seleciona-se a pasta onde o ficheiro será guardado e atribui-se a designação ao respetivo, executando-se de seguida.

**Figura 9 - Processo metodológico do recorte dos rasters pelas áreas de estudo.**



## **2.6. Modelos 3D do edificado**

A modelagem tridimensional é, nada mais nada menos, que uma técnica que permite criar objetos em três dimensões, o que resulta numa representação mais precisa e “real” do objeto.

No projecto SIG que se pretendeu desenvolver, o objetivo principal era a representação do edificado do município do Porto em 3D, sendo necessário, num primeiro momento, a recolha e tratamento dos dados referentes à altura do edificado. Na tentativa de ter uma base de dados o mais completa possível, optou-se por utilizar três bases de dados distintas. Partindo disto, o segundo momento consistiu na análise e posterior utilização dos ficheiros referentes à altura das ruas e ao ponto mais elevado do edificado, com as designações “altura ruas” e “altura mancha construída”. Neste sentido, importa destacar que os ficheiros foram sujeitos a confirmação, onde se averiguou que o ficheiro denominado “altura mancha construída” apresentava valores respeitantes à altura dos terrenos e do edificado. Para corrigir este problema, levaram-se a cabo algumas operações no software ArcGis Pro para retirar o valor do terreno ao valor das alturas do edificado, à qual exemplificarei de seguida, de modo a obter apenas a altura do edificado.

### **2.6.1. Construção de polígonos thiessen**

A ferramenta “Thiessen Polygons” é utilizada, essencialmente, para “dividir a área coberta pelas feições do ponto de entrada em Thiessen ou nas áreas circundantes”. (ESRI, 2016) Por outras palavras, esta técnica permite decompor um determinado espaço, balizado pela distância para

um conjunto de objetos no espaço. Assemelhando-se a uma área de influência, os “Thiessen Polygons” “representam áreas completas onde qualquer local dentro da zona está mais próximo de seu ponto de entrada associado do que de qualquer outro ponto de entrada” (ESRI, 2016).

- Na barra do “search”, colocar “Thiessen Polygons”, selecionando a ferramenta “create thiessen polygons”;
- Para o “input”, adicionar o ficheiro “altura ruas”;
- Selecionar a pasta onde se pretende guardar o novo ficheiro e dar uma designação;
- No “output fields”, carregar na opção “all”, que permitirá importar todos os campos relativos ao ficheiro utilizado (isto é, a “altura ruas”) e executar.

De seguida, utiliza-se a ferramenta “Spatial Join” usada para unir atributos de uns elementos a outros, tendo por base o relacionamento espacial”.

O uso desta ferramenta foi aplicado para as “alturas da mancha construída” no ficheiro dos “thiessen polygons”, de forma a unir as alturas da mancha construída ao ficheiro previamente criado, ou seja, todos os pontos encontrados na área de influência dos polígonos thiessen.

- Selecionar o ficheiro dos polígonos thiessen, escolher a opção “join”, optando por “join data from another layer based on spatial location”;
- Escolher o ficheiro onde se pretende realizar o “join”, sendo para este caso o “alturas da mancha construída”;
- Eleger o primeiro ponto e o separador “average”, o que permitirá calcular a média de valores dos pontos existentes dentro de cada polígono;
- Verificar a pasta onde se quer guardar o ficheiro, atribuir uma designação ao novo ficheiro e executar.

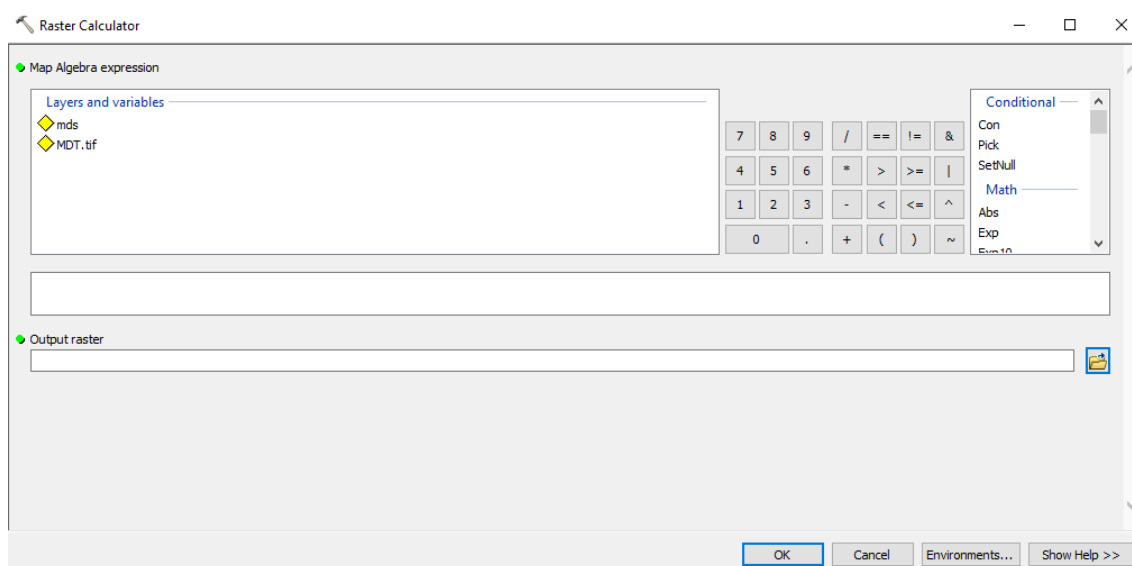
Depois, tendo-se já obtido os valores das alturas, quer das ruas quer da mancha construída, procedeu-se à criação de um novo campo na tabela de atributos, em “double” (tipo de campo numérico), atribuindo a denominação de “altura do edifício”. Esta operação permitiu a subtração das alturas da mancha construída com a altura das ruas, tendo como resultado a altura final do edificado.

#### **2.6.2. Subtração do MDS/MDT**

Julgou-se necessário também a utilização dos dados do MDT e do MDS, onde se executaram operações similares à supre explanada. Considerando os conceitos do MDT e MDS, em que o MDT tem em conta apenas o relevo e o MDS abarca todos os elementos acima do nível do terreno, foi necessário fazer uma subtração destes modelos através da ferramenta “raster calculator”, tendo como resultado final as alturas de tudo aquilo que se encontra acima do nível do terreno (como por exemplo: o edificado). Para isto, efetuou-se o seguinte (**Figura 10**):

- Pesquisar por “raster calculator” e seleccionar a opção “raster calculator (spatial analyst)”;
- Criar a função algébrica, sendo esta (“MDS” – “MDT”) e executá-la;
- Seleccionar a pasta onde o novo ficheiro será guardado e dar uma designação.

**Figura 10 - Processo metodológico da subtração do MDS pelo MDT.**

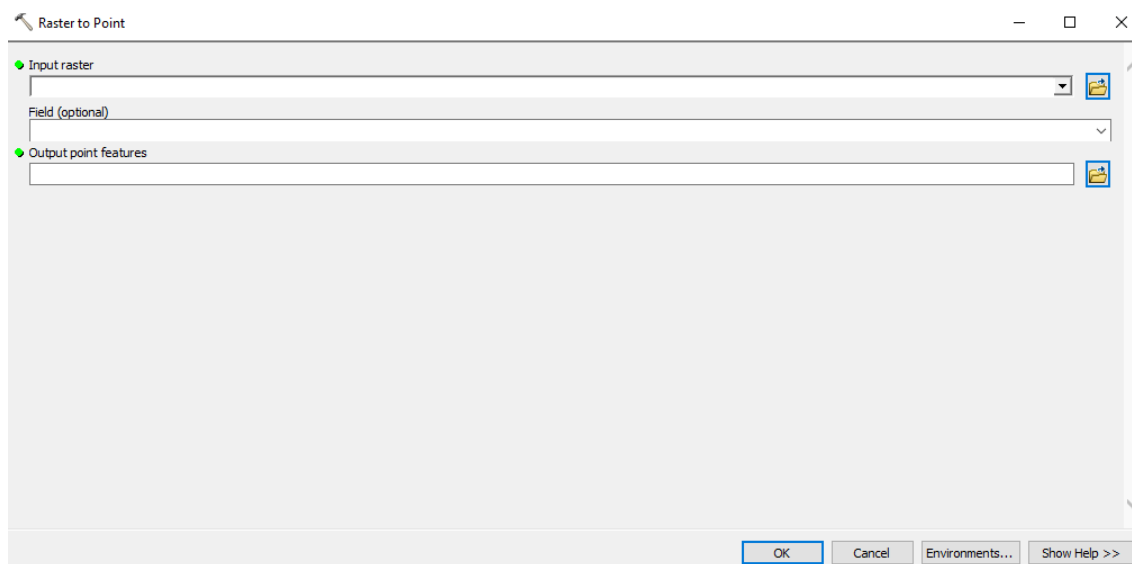


Concluída esta operação procedeu-se à conversão dos valores, passando de um ficheiro em formato matricial para formato vectorial, através da ferramenta “raster to point (conversion)”, que permite transformar os pixéis do raster em pontos. Assim, foram seguidos os seguintes passos (**Figura 11**):

- No search, procurar por “raster to point”, seleccionando-se “raster to point (conversion)”;
- No “input” do raster, adiciona-se o ficheiro resultante da subtração do MDS com o MDT;

- No “field”, por defeito o software escolhe automaticamente a opção “value”, sendo este o valor das altitudes;
- Escolher a pasta onde o ficheiro irá ser guardado, atribuir o nome e executar.

**Figura 11 - Processo metodológico da transformação do raster em pontos.**



Depois desta operação, considerou-se, também, necessário juntar os ficheiros até agora criados ao layer do edificado, recorrendo-se para isso, novamente, ao “spatial join”. Porém, vale ressaltar que nesta etapa as operações foram um pouco diferentes, tal como irei explicar já de seguida.

Para a junção dos polígonos thiessen optou-se por utilizar a média, ou seja, calculou-se a média das alturas dos polígonos que interceptavam os edifícios. No caso do MDS e MDT decidiu-se fazer a junção dos pontos utilizando-se o máximo, o que levou a que, de todos os pontos existentes, fosse apenas considerado o ponto que tivesse maior valor altura.

Concluídas estas operações, avançou-se para a estruturação da layer do edificado, estando este agregado a três valores de altitude, resultado da elaboração dos “thiessen polygons”, da subtração do MDS e MDT e dos valores que já existiam na layer. O facto da layer incorporar três valores de altitude pode ser justificado pelo facto de, após a confirmação dos dados fornecidos pelas docentes, a tabela de atributos do ficheiro do “edificado” demonstrava, em alguns edifícios, valor “0”.

Apesar de haver a hipótese de utilizar apenas os polígonos thiessen na layer do edificado, este não seria capaz de nos dar os valores reais da altura do edificado, nomeadamente os valores do

interior dos quarteirões, uma vez que os polígonos foram construídos considerando somente os eixos das vias, havendo, por isso, uma distância significativa entre eles. Existe, ainda, outro constrangimento que se prende à utilização dos polígonos thiessen na layer e reside, sobretudo, no uso da média para calcular as alturas do edificado. Em sequência disto, denota-se que se o polígono thiessen cruzar mais do que dois pontos da altura da mancha construída, este irá fazer a média desses pontos, o que não indicaria um valor fidedigno, passível de ser utilizado. De forma a colmatar estas limitações, optou-se, então, pela utilização das três bases de dados, tal como acima referido.

- Procede-se então à exportação da tabela de atributos do edificado;
- No “export”, eleger o tipo “text” como formato do ficheiro;
- No Excel, clicar no separador “dados” e seleccionar a opção “a partir de texto/CSV”, importando, depois, o ficheiro;
- De seguida, deve eliminar-se todos os campos, à exceção do campo “FID” (“Field Identification”), uma vez que será preciso para importar os dados no layer do edificado e os campos das alturas;
- O resultado desta operação será a “altura” como campo original do layer; “A\_MD como campo importado da subtração do MDT com o MDS; e “Alt\_TP como campo importado dos polígonos thiessen.

Tendo já a tabela estruturada com os três valores de altura do edificado, foi preciso saber qual os melhores valores a serem aplicados no edificado, o que conduziu à elaboração de novos cálculos. Assim, procedeu-se à criação de um outro campo, à qual se atribuiu o nome “Max ALT”, optando-se, tal como a própria designação indica, por utilizar uma fórmula de cálculo que nos desse o máximo, isto é, no conjunto dos valores serão considerados os valores máximos. Mais uma vez, isto justifica-se pelo facto de no cálculo da média haver desfasamento dos valores reais, logo não permitirá ter resultados “confiáveis”. Esta operação processou-se da seguinte forma:

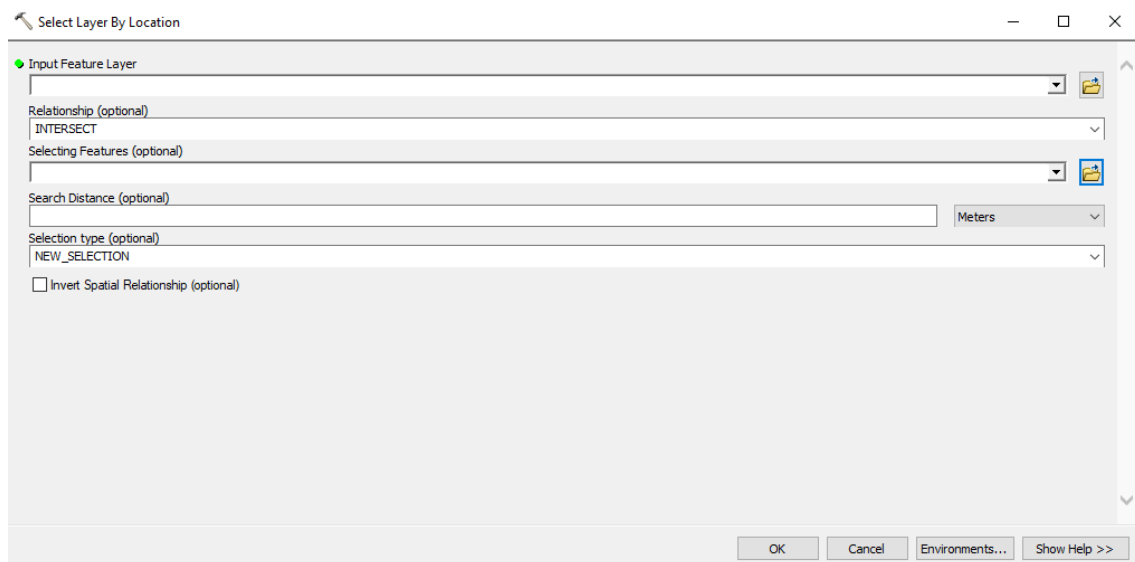
- No separador “fórmulas” seleccionar “máximo” e os campos das três alturas;
- Efetuados os cálculos, copiar o campo que foi calculado e colar como “valores”;
- Guardar o Excel no formato “Livro Excel 97-2003”;

- No software ArcGis executar o “join” no ficheiro do edificado, escolhendo a opção “join attributes from a table”, utilizando como campo comum o “FID”;

Seguidamente, procedeu-se à seleção do edificado que compõe as zonas XXI, conforme o exemplo abaixo (**Figura 12**):

- No “select layer by location”, adicionar os edifícios das Zonas XXI, colocando no “Input” o edificado e em “Selecting Features” a zona;
- Aplicar distância de 10 metros para abarcar os edifícios que estão dentro das Zonas XXI;
- Tendo o edificado e as Zonas XXI selecionadas, exporta-se o ficheiro através do separador “data” e “export data”;
- No software, converte-se os edifícios exportados em “multipatch features”, recorrendo às ferramentas sequencialmente: “analyses”; “tools”; “layer 3D to feature class”;
- No “input feature layer”, adicionar os edifícios e escolher a pasta onde se quer gravar o ficheiro, atribuir um nome e executar.

**Figura 12 - Processo metodológico da seleção do edificado de cada zona XXI.**



## 2.7. Sun Shadow Frequency

Segundo a Esri, o “Sun Shadow Frequency” permite calcular o “número de vezes que uma posição fixa numa superfície tem a sua linha de visão direta para o sol obstruída” (ESRI, 2022). Por outras palavras, esta ferramenta indica-nos o número de vezes que uma determinada área

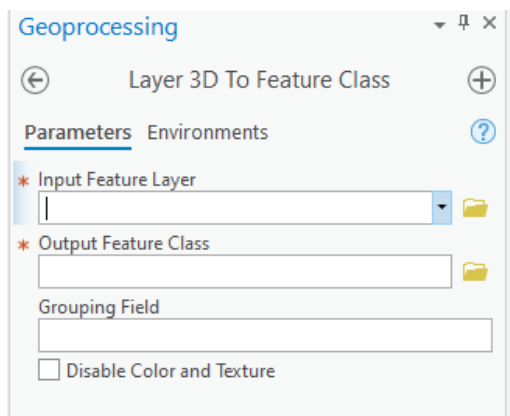


está à sombra, baseado no cálculo das células/pixéis dessa área, onde “a posição do sol será calculada a partir da data e hora de início até à data e hora de término”. (ESRI, 2022)

Para a construção deste modelo foi necessário (**Figura 13**):

- Transformar o formato do mapa para “global scene”;
- “Insert”; “new map”; “new global scene”;
- Em “geoprocessing”, colocar “sun shadow frequency”;
- No “input” deverá adicionar os “edifícios”, convertidos em multipatch;
- Na opção “ground surface”, adicionar o ficheiro do MDT e no “cellsize” colocar um metro;
- Em “start time” e “end time” escolher as datas pretendidas;
- No “time interval” pôr uma hora.

**Figura 13 - Processo metodológico da criação de modelos do Sun Shadow Frequency.**



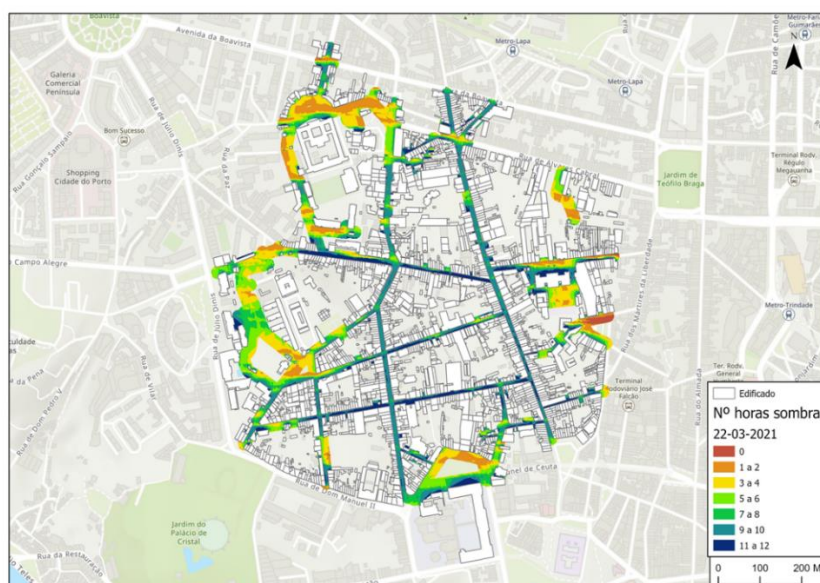
Como nota, para estes modelos foi sugerido escolher as datas correspondentes aos equinócios e solstícios, fenómenos que marcam a posição do sol em relação à Terra e, por isso, a entrada das estações. Desta forma, optou-se, então, por utilizar o 22 de março de 2021 (equinócio da primavera), 22 de junho de 2021 (solstício de verão), 22 de setembro de 2021 (equinócio de outono) e o 22 de dezembro de 2021 (solstício de inverno). Por fim, importa ressaltar que os dias escolhidos não são os que correspondem ao início dos equinócios e solstícios, justificado pelo facto de no começo dos mesmos haver um desfasamento de horas, o que poderia influenciar os resultados (por exemplo, o equinócio da primavera inicia-se por voltas das 15h).

Depois de construídos, os modelos tiveram que ser recortados, novamente através da ferramenta “clip (data management)”. Usando o ficheiro das “vias”, executou-se um “buffer analysis” de 15 metros, fazendo-se, posteriormente, um novo “clip” (corte ao ficheiro), seleccionando como “input” os modelos do “sun shadow frequency” e no “clip features” o “buffer” das vias.

No que se refere aos resultados dos modelos “Sun Shadow Frequency”, ou melhor dizendo os modelos de exposição de frequência solar/sombra, estes serão apresentados de seguida, iniciando-se o processo, primeiramente, nas Zonas XXI nº1 e, por fim, nas Zonas XXI nº2.

O modelo “Sun Shadow Frequency” das Zonas XXI nº1, compreendendo as artérias de Miguel Bombarda, Cedofeita, e Carlos Alberto, demonstram, numa perspectiva geral, que no equinócio da primavera, grande parte da área periférica encontra-se exposta ao sol, com valores de sombra que variam entre o zero (estão sempre expostas ao sol) e as 7/8 horas de sombra (uma pequena parte do dia exposta ao sol). (Figura 14)

**Figura 14 - Sun Shadow Frequency do equinócio da primavera, da zona XXI nº1.**

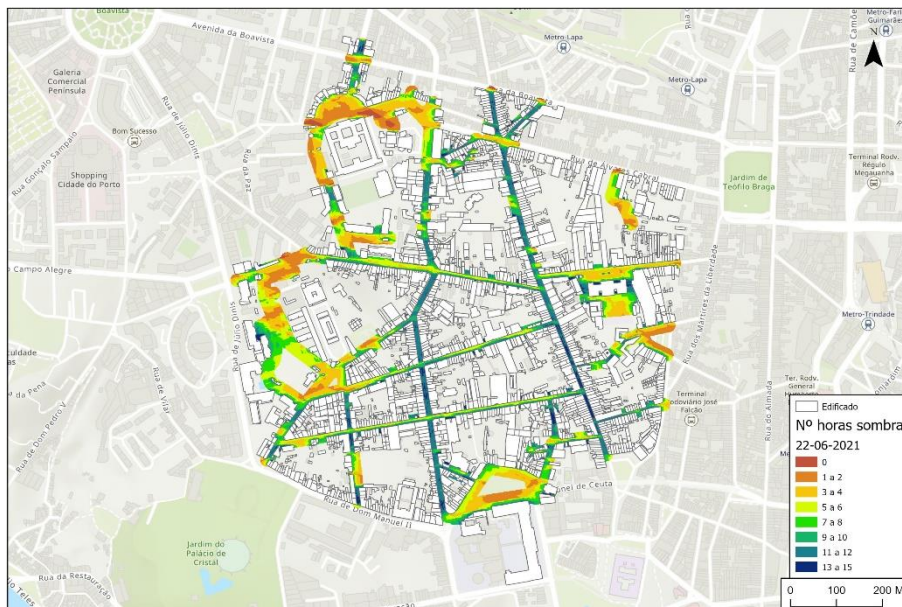


Fonte: CM Porto, Elaboração Própria

Estes resultados poderão estar relacionados, por um lado, com a própria geometria das ruas, isto é, o facto dos arruamentos serem mais estreitos ou mais largos permitem uma maior ou menor incidência solar, e por outro, a altura do edificado que, seguindo a lógica geográfica será quanto maior for o edificado mais horas estará à sombra e quanto menos for o inverso.

No solstício de verão (**Figura 15**), o cenário é mais ou menos similar, tendo a área periférica da Zona XXI nº1 menos horas de sombra, variando entre as 0 horas e as 7/8 horas de sombra. Por outras palavras, observa-se que uma quota parte da área recebe mais horas de sol ou esta exposta durante uma parte do dia a este.

**Figura 15 - Sun Shadow Frequency do solstício de verão, da zona XXI nº1.**

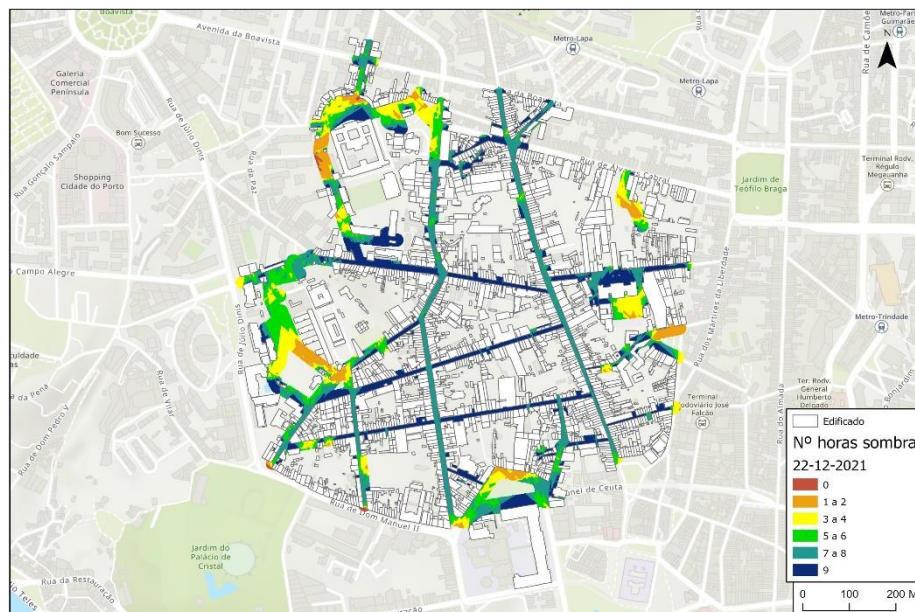


Fonte: CM Porto, Elaboração Própria

Porém, é, igualmente, visível que nas áreas mais “centrais”, como por exemplo a rua do Rosário e a rua de Cedofeita, apresentam mais horas de sombra, atingindo entre 11 e as 15 horas de sombra. Isto pode dever-se, mais uma vez, à configuração das ruas, à altura e orientação do edificado, e até à própria presença ou inexistência de espaços verdes.

No solstício de inverno (**Figura 16**) já se notam várias diferenças comparativamente com os resultados anteriormente observados. A área mais “central” permanece com um considerável número de horas de sombra, que variam entre as 7 e as 9 horas, porém, a área considerada “periférica” apresenta variações significativas que, olhando para o presente modelo, traduzem mais horas de sombra que nos precedentes. Todavia, é possível, também, verificar que algumas das áreas “periféricas” continuam a registar menos horas de sombra, atingindo entre 1/2 a 5/6 horas de sombreamento.

**Figura 16 - Sun Shadow Frequency do solstício de inverno, da zona XXI nº1.**



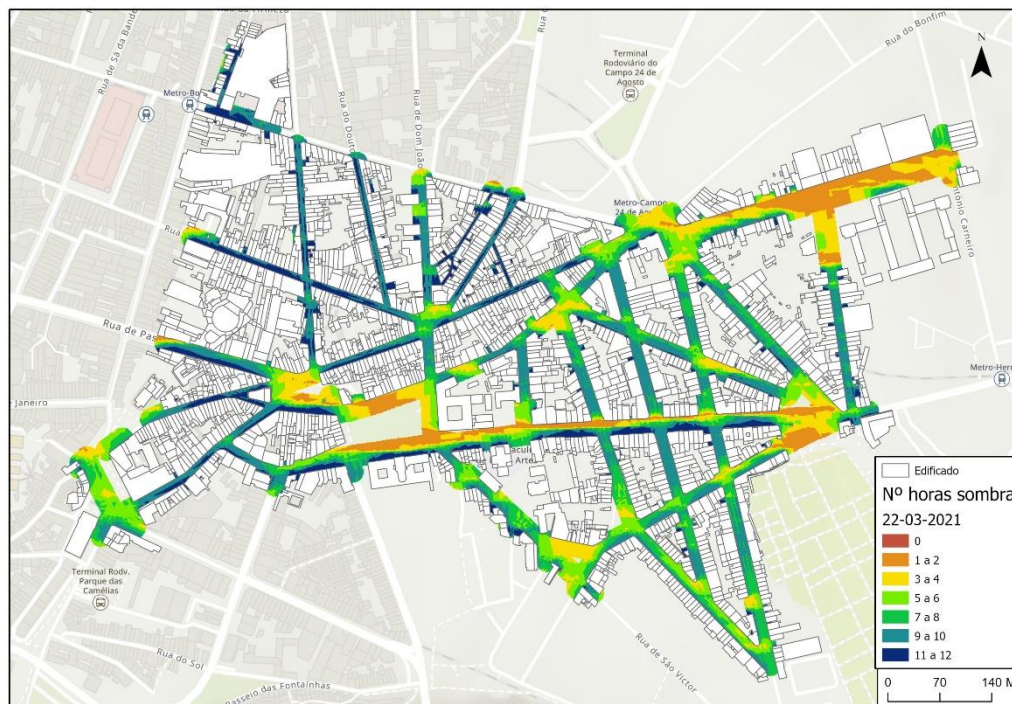
Fonte: CM Porto, Elaboração Própria

A situação observada pode justificar-se, não só pelos motivos já enunciados nos modelos antecessores, como também pela razão de estarmos no inverno, circunstância em que a inclinação dos raios solares é maior, traduzindo-se numa maior área atingida, contudo numa menor quantidade de radiação solar recebida por unidade de superfície, conduzindo a menores horas de insolação (diminuição do dia).

No que concerne às Zonas XXI nº2, englobando as áreas do Campo 24 de Agosto, Bolhão e Batalha, o quadro é completamente distinto da área nº1. No equinócio da primavera (figura 17), uma grande parte desta área regista menos horas de sombra, ostentando entre 1/2 e as 7/8 horas expostas à mesma



Figura 17 - Sun Shadow Frequency dos equinócios, da zona XXI nº2.

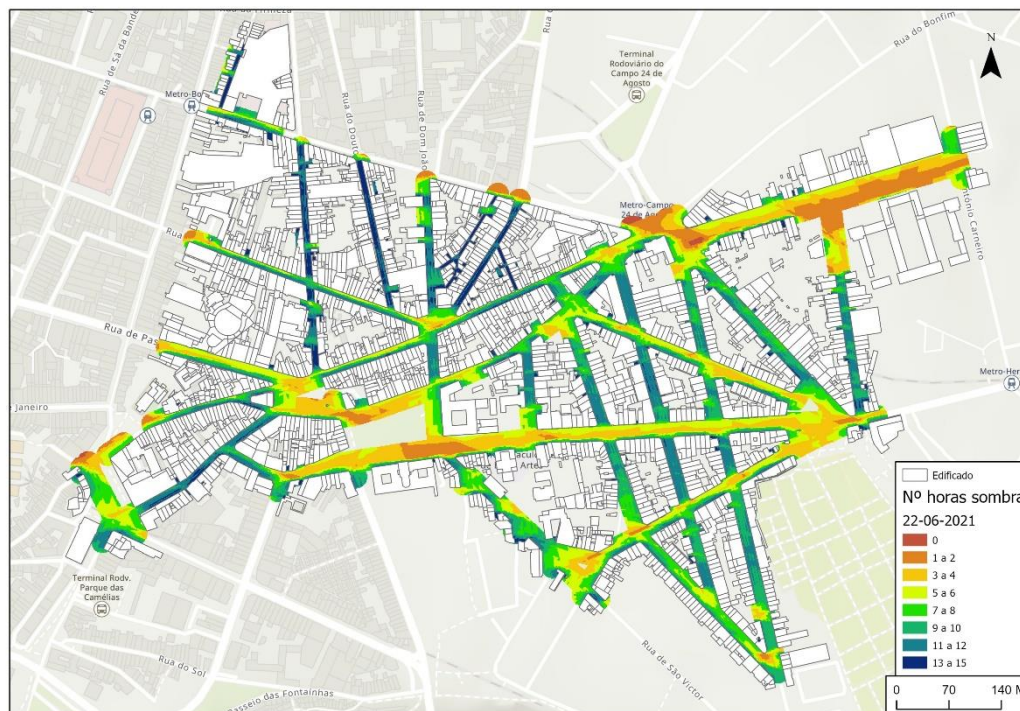


Fonte: CM Porto, Elaboração Própria

No solstício de verão (**Figura 18**), observa-se praticamente o mesmo contexto que o anterior, todavia com algumas pequenas áreas a distinguirem-se, como por exemplo as com a orientação nordeste, onde apresentam menos horas de sombra que varia entre a 1 e as 4 horas expostas à sombra.

Além da configuração do próprio território, também o aumento do número de horas de sol, devido à menor inclinação dos raios solares e maior receção de radiação solar por unidade de superfície, poderá estar na ordem deste panorama.

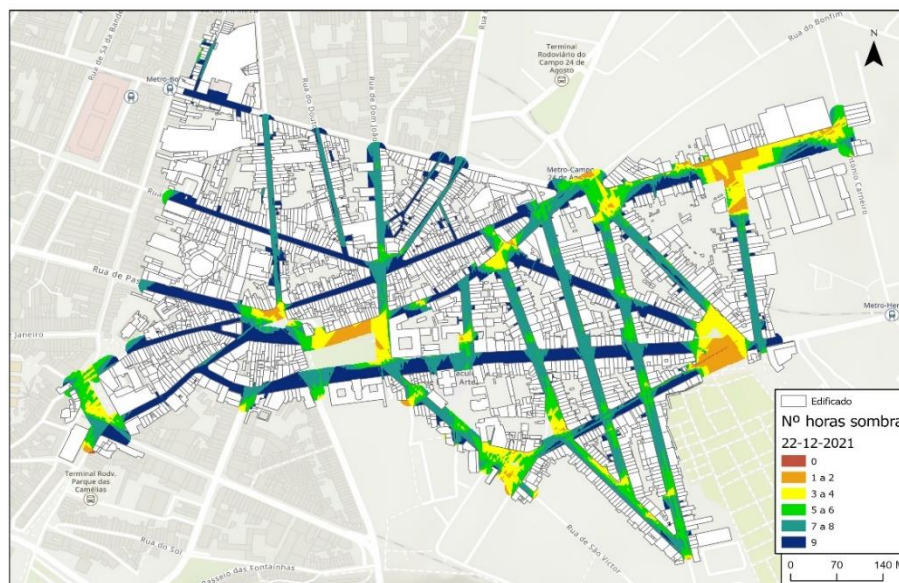
**Figura 18 - Sun Shadow Frequency do solstício de verão, da zona XXI nº2.**



Fonte: CM Porto, Elaboração Própria

No solstício de inverno (**Figura 19**), o contexto, como já seria expectável, volta a diferenciar-se, espelhado por uma maioria da área, à exceção de pequenos pontos, exprimir maior horas de sombra, alcançando entre as 7 e as 9 horas de sombra. Estes resultados podem, mais uma vez, estar associados às razões previamente referidas.

**Figura 19 - Sun Shadow Frequency do solstício de inverno, da zona XXI nº2.**



Fonte: CM Porto, Elaboração Própria

### 3. Considerações finais

O estágio curricular realizado na FLUP I&D teve um impacto muito positivo nas minhas competências pessoais, permitindo, por um lado, assimilar e colocar em prática o conteúdo programático elencado nos Sistemas de Informação Geográfica, e por outro, aperfeiçoar a componente técnica bem como aprender novas ferramentas, seguramente úteis para o futuro no mercado de trabalho.

Dos vários objetivos que marcaram este estágio curricular, importa realçar que existe ainda um longo trabalho a desenvolver, designadamente na dissertação levada a cabo no próximo semestre, pretende-se, desta forma, aprofundar não só a temática que norteou o estágio, como também apurar os resultados obtidos. A componente teórica será, igualmente, alvo de maior investigação, por forma a possibilitar uma maior compreensão do papel dos espaços verdes no município do Porto e, por sua vez, promover uma leitura mais eficaz dos resultados. Um outro objetivo será, eventualmente, levado a cabo na dissertação, residindo na aprendizagem e enriquecimento da componente prática, podendo culminar, quiçá, na elaboração de novos modelos no âmbito dos SIG.

Por fim, interessa salientar que apesar de o estágio ter contribuído ativamente para o desenvolvimento das aprendizagens, considera-se ter existido algumas dificuldades,

nomeadamente na questão do mesmo não ter sido presencial. Atendendo à conjuntura vivida, em decorrência da pandemia Covid 19, não seria possível ocorrer de diferente forma, no entanto, não podemos descurar da importância de um estágio curricular presencial, visto que poderia proporcionar um maior contacto com os orientadores e um maior envolvimento com o projeto embargado. Um outro constrangimento residiu na própria vertente prática, em que foi marcada pela morosidade na execução dos modelos 3D e na aquisição de dados, dos quais se destacam, por exemplo, o acesso aos registos das árvores e dos muros, elementos que poderiam enriquecer o projeto SIG e permitir uma outra leitura dos resultados. A isto, soma-se ainda a alteração do plano de estágio, não sendo, por isso, concretizados alguns dos objetivos inicialmente delineados, realçando-se a título de exemplo as medições de temperatura e humidade e a elaboração de imagens térmicas relativas ao município do Porto. A alteração por si só não poderá ser vista como uma pecha, mas sim um progresso, uma vez que possibilitou o aumento do conhecimento empírico e a aplicabilidade de novas ferramentas SIG.

Num balanço geral, considera-se ter tirado o melhor partido deste estágio curricular, cujos contributos serão, naturalmente, aplicados no próximo semestre, ao longo da dissertação de mestrado.



## Referências bibliográficas

- Barry, R. G., & Chorley, R. J. (2009). Atmosfera, tempo e clima. Bookman Editora;
- Monteiro, A., & Madureira, H. (2000). Os corredores verdes no Porto-(ainda) uma possibilidade ou (apenas mais) uma utopia?: reflexão em torno da sua importância para o contexto climático local e regional.
- Zanardi, R. P. (2006). Geração de modelo digital de terreno a partir de par estereoscópico do sensor CCD do satélite CBERS-2 e controle de qualidade das informações altimétricas.
- Plano Diretor Municipal do Porto, 2021. Consultado em 03/02/2022 <https://pdm.cm-porto.pt/>
- UN Environment Programme, 2021. Consultado em 08/02/2022 <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/36586/SSRC.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Agência Portuguesa do Ambiente, 2015. Consultado em 08/02/2022 <https://www.eea.europa.eu/pt/sinais-da-aea/sinais-2015/entrevista/as-alteracoes-climaticas-e-as-cidades>
- Câmara Municipal do Porto, 2022. Consultado em 10/02/2022 <https://ambiente.cm-porto.pt/ambiente/plano-de-arborizacao>
- ESRI. (2016). *Create Thiessen Polygons (Analysis)*. Retrieved 10/02/2021 from <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/2.8/tool-reference/analysis/create-thiessen-polygons.htm>
- ESRI. (2021). *What is a TIN surface?* <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/manage-data/tin/fundamentals-of-tin-surfaces.htm>
- ESRI. (2022). *Sun Shadow Frequency (3D Analyst)*. Retrieved 08/02/2022 from <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/3d-analyst/sun-shadow-frequency.htm>