

UNIVERSIDADE DE LISBOA
Faculdade de Ciências
Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e
Energia



**DESENVOLVIMENTO DE UMA APLICAÇÃO SIG
NO APOIO À GESTÃO DA REGA: O CASO DE
ESTUDO DO ALENTEJO (PORTUGAL)**

Pedro Godinho Mendes

Trabalho de Projecto

**MESTRADO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA -
TECNOLOGIAS E APLICAÇÕES**

2013

UNIVERSIDADE DE LISBOA
Faculdade de Ciências
Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e
Energia



**DESENVOLVIMENTO DE UMA APLICAÇÃO SIG NO
APOIO À GESTÃO DA REGA: O CASO DE ESTUDO
DO ALENTEJO (PORTUGAL)**

Pedro Godinho Mendes

Trabalho de Projecto

**Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica - Tecnologias e
Aplicações**

Orientadores: Prof.^a Doutora Cristina Catita
Doutor João Rolim

2013

Resumo

Para elaborar estudos sobre os impactos das alterações climáticas nas necessidades hídricas das culturas é necessário usar cenários de alterações climáticas produzidos por modelos climáticos regionais, que estão distribuídos no espaço e tem uma longa série de dados (e.g. 30 anos) relativamente a diversas variáveis climáticas. É também necessário ter em conta dados meteorológicos observados obtidos em redes de estações meteorológicas, para caracterizar o cenário de base e corrigir os dados dos modelos climáticos. Assim, tem-se que controlar grandes quantidades de dados espacialmente distribuídos sendo necessário a criação de um SIG para gestão dos mesmos. Com este objectivo, foi desenvolvida uma aplicação SIG, usando o *software* ArcGIS, contendo dados georreferenciados relativamente aos solos, culturas e clima (dados climáticos observados de estações meteorológicas e cenários de alterações climáticas). Os modelos climáticos regionais considerados foram: *HadRM3P* (cenários A2 e B2) com uma resolução espacial de 50km, *HIRHAMh* (cenário A2) com uma resolução espacial de 25km e *HIRHAMhh* (cenário A2) com uma resolução espacial de 12km. Os dados dos modelos climáticos são relativos ao período de 2071-2100 e foram obtidos através do projecto PRUDENCE. Foi considerada a rede de estações meteorológicas SAGRA situadas na região do Alentejo, Portugal, para fornecer os dados observados. Dentro deste SIG foi desenvolvida uma aplicação em *Visual Basic for Applications* (VBA) com dois objectivos principais: i) permitir fazer a análise espacial dos cenários de alterações climáticas e a produção automática de mapas para as principais variáveis; ii) ser uma plataforma de integração para os modelos de simulação da rega permitindo a quantificação das necessidades de águas das culturas a um nível regional. Esta aplicação opera sobre uma grande quantidade de ficheiros de texto que contêm os dados meteorológicos (incluindo os dados dos modelos climáticos regionais e os dados das estações meteorológicas) e executa a interpolação espacial para uma nova grelha com uma resolução espacial de 10km. Baseado nesta nova grelha, a aplicação corre o modelo de cálculo das necessidades hídricas das culturas para cada ponto, calculando a necessidades de rega das culturas para os cenários de alterações climáticas considerados, produzindo mapas dessas necessidades. Este SIG foi implementado para a região do Alentejo, Portugal, permitindo a avaliação dos impactos das alterações climáticas nas necessidades de rega das culturas a um nível regional. Como produto final foi produzido um conjunto de mapas para as principais variáveis de interesse na rega.

Palavras-chave: SIG, necessidades de rega, modelos de simulação, alterações climáticas, análise espacial.

Abstract

To perform climate change impacts studies on the crops irrigation requirements is necessary to use climate change scenarios data produced by regional climate models, which are distributed in space and have long data series (e.g. 30 years) relative to several climatic variables. It is also necessary to take into account observed meteorological data recorded in weather stations networks, to characterize the baseline scenario and to correct the bias of the climate models data. Thus, we have to handle large amounts of spatial distributed data being necessary to create a GIS to perform data management. With this goal was developed a GIS application, using the ArcGIS software, containing georeferenced data relative to soils, crops and climate (observed climate data from weather stations and climate change scenarios). The regional climate models considered were: HadRM3P (scenarios A2 and B2) with a spatial resolution of 50 km, HIRHAMh (scenario A2) with a resolution of 25 km and HIRHAMhh (scenario A2) with a spatial resolution of 12 km. The climate models data are relative to the 2071-2100 period and were obtained from the PRUDENCE project. Was considered the SAGRA weather stations network located in the Alentejo region in Portugal to provide the observed data. Inside this GIS was developed one software application in Visual Basic for Applications (VBA) with two main objectives: i) allowing to perform the spatial analysis of the climate change scenarios data and the automatic production of maps for the main climatic variables ii) to be an integration platform for the irrigation simulation models allowing the quantification of crop water requirements on a regional scale. This software operates over the several text files containing the meteorological data (including the RCM models output and the weather stations data) and performs the spatial interpolation for a new grid of points with a 10 km spatial resolution. Based on this new grid this software runs the crop water requirements model, for each point, calculating the crop water requirements for the several climate change scenarios considered, producing maps of the crop water requirements. This GIS was implemented for the Alentejo region, Portugal, enabling the assessment of the climate change impacts over the crop irrigation requirements at a regional level. As final product were produced a set of maps for the main variables of interest in irrigation.

Keywords: GIS, Irrigation requirements, Simulation models, Climate change, spatial analysis.

Índice

Resumo.....	I
Abstract	III
Índice de Tabelas.....	IX
Índice de Figuras	XI
Lista de abreviaturas/acrónimos.....	XV
Agradecimentos	XVII
1. Introdução	1
2. Fundamentos teóricos e revisão de literatura	5
2.1 Sistemas de Informação	5
2.2 Sistemas de Informação Geográfica.....	7
2.2.1 Hardware.....	8
2.2.2 Software	9
2.2.3 Metodologias	9
2.2.3.1 Interpolação Espacial	10
2.2.4 Recursos Humanos.....	11
2.2.5 Dados.....	11
2.3 Sistemas de Informação Ambientais e Sistemas de Apoio à Decisão Ambientais.....	12
2.4 SIG na gestão da rega.....	14
3. Desenvolvimento da aplicação GISCLimReg para gestão e análise da informação	21
3.1 Estruturação da Base de Dados da aplicação <i>GISCLimReg</i>	21
3.1.1 Determinação das Anomalias Climáticas	31
3.2 Aplicação SIG GISCLimReg para consulta dos dados meteorológicos	34
Módulo Sazonal.....	36
Módulo Com Parâmetros	40
Módulo Interpolação Espacial.....	41
Implementação no ArcGIS.....	44
3.3 Grelha 10km	48
3.3.1 Séries Meteorológicas Perturbadas	53
Anomalias.....	53
Dados da Rede SAGRA.....	54
Séries Climáticas Perturbadas	55
3.3.2 Solos	56

4.	Integração de um modelo simplificado de cálculo das necessidades hídricas na aplicação GISClmReg	61
4.1	Considerações gerais.....	61
4.2	Descrição do modelo simplificado de cálculo da evapotranspiração de referência e <i>deficit</i> hídrico.....	62
4.2.1	Evapotranspiração.....	63
4.2.2	<i>Deficit</i> Hídrico.....	66
4.3	Integração do modelo com a aplicação GISClmReg	67
4.3.1	Interface Gráfica.....	68
4.3.2	Comunicação (input/output) com a grelha de 10km	70
4.3.3	Análise dos resultados e geração de mapas	73
5.	Disponibilização da informação na WEB.....	77
5.1	Introdução.....	77
5.2	Descrição da arquitectura do <i>WebSIG</i>	77
5.2.1	Base de dados do <i>WebSIG</i>	78
	Ficheiros KML/KMZ	78
5.2.2	<i>Google Maps</i> API	79
5.2.3	Criação da página <i>web</i>	81
	HTML	82
	JavaScript.....	83
	CSS.....	86
5.3	Apresentação da página do <i>WebSIG</i>	88
6.	Conclusões.....	91
7.	Referências Bibliográficas	93
A.	Anexos.....	99
Anexo I.	Parâmetros seleccionados na interface da aplicação GISClmReg e respectivo mapa	100
Anexo II.	Parâmetros da Transformação de Molodensky	101
Anexo III.	Principais mapas produzidos pelo modelo de cálculo das necessidades hídricas das culturas para os cenários de alteração climática.....	102
Anexo IV.	Mapas das principais variáveis climáticas para os cenários de alteração climática	106
Anexo V.	Principais mapas das anomalias climáticas.....	110
Anexo VI.	Mapas das principais variáveis climáticas para o período de base.....	112
Anexo VII.	Principais mapas produzidos pelo modelo de cálculo das necessidades hídricas das culturas para os dados da rede SAGRA (2003-2007)	114

Anexo VIII. Artigo submetido no âmbito da conferência EFITA 2013 – Sustainable Agriculture through ICT innovation – decorrida de 23 a 27 de Junho de 2013 em Turim (Itália)	115
---	-----

Índice de Tabelas

Tabela 3.1 - Dados sobre a antiga base de dados.....	30
Tabela 3.2 - Dados sobre a nova base de dados.....	30
Tabela 3.3 - Variáveis climáticas incluídas na base de dados SIG.....	37
Tabela 3.4 - Modelos climáticos disponíveis na base de dados SIG e respectiva descrição.....	37
Tabela 3.5 - Parâmetros do Sistema de Coordenadas Geográficas WGS84 [42].	45
Tabela 3.6 - Exemplo de algumas classes de solos existentes no ficheiro da base de dados dos solos.	59
Tabela 4.1 - Evapotranspiração de referência média para diferentes regiões climáticas (mm/dia)[49].	64
Tabela 5.1 - Tabela com os mapas presentes na página <i>web</i> desenvolvida no âmbito deste projecto.	89

Índice de Figuras

Figura 1.1 - Fluxograma da metodologia desenvolvida para este projecto.....	2
Figura 2.1 - Um modelo de quatro níveis de Sistemas de Informação baseado nos diferentes níveis de hierarquia de uma organização [3].	6
Figura 2.2 - Componentes dos SIG [6][10].	8
Figura 2.3 - Ilustração do processo de interpolação espacial, usando o método da média ponderada pelo inverso do quadrado da distância.	10
Figura 2.4 - Construção em blocos de um sistema de apoio à decisão ambiental, segundo Denzer [16].	14
Figura 2.5 - Mudança agroclimática prevista (PSMD em mm) entre a <i>baseline</i> (1961-1990) e o ano de 2050 para os cenários de emissão SRES seleccionados (A2 e B2) [26].	18
Figura 3.1 – Esquema geral da metodologia desenvolvida neste trabalho.	21
Figura 3.2 - Extracto de um dos ficheiros originais para a variável <i>LWnet</i> do modelo DMI de 12km para o período de controlo.	24
Figura 3.3 - Exemplo do ficheiro de informação dos pontos para o modelo DMI com resolução espacial de 12km antes de ser corrigido.	25
Figura 3.4 - Exemplo do ficheiro de informação dos pontos para o modelo DMI com resolução espacial de 12km depois de ser corrigido.	26
Figura 3.5 - Extracto de um ficheiro da nova base de dados SIG.	27
Figura 3.6 - Fluxograma representativo do processo de criação da nova base de dados SIG, sendo que a tracejado representa-se o programa auxiliar desenvolvido em VBA para automatizar o processo.....	28
Figura 3.7 – Esquema representativo da transformação realizada na estrutura dos dados da antiga para a nova base de dados.	29
Figura 3.8 - Estrutura em árvore da base de dados.	31
Figura 3.9 - Extracto de um ficheiro para um ponto de a) cenário (DMI12KM_4) e b) controlo (DMI12KM_4).	32
Figura 3.10 - Extracto de um ficheiro para um ponto das anomalias (DMI12KM_4).	33
Figura 3.11 - Extracto de um ficheiro para um ponto: a) de cenário da precipitação (DMI12KM_4) e b) de controlo da precipitação (DMI12KM_4).	34
Figura 3.12 - Fluxograma da aplicação GISclimReg representativo da construção de uma superfície contínua (mapa).	35
Figura 3.13 - Interface de início da aplicação GISclimReg.	36
Figura 3.14 - Interface do GISclimReg para o módulo a) Sazonal Semestral e b) Sazonal Trimestral.	38
Figura 3.15 - Módulo "Por Parâmetros".....	40
Figura 3.16 - Interface para inserção dos parâmetros para executar a interpolação espacial utilizando o método IDW.	42
Figura 3.17 - Formulário dos parâmetros para executar a interpolação espacial utilizando o método <i>Kriging</i>	42
Figura 3.18 - Exemplo de um ficheiro “intermédio” criado para a interpolação espacial do modelo DMI com a grelha de 12km para a variável de precipitação.	43

Figura 3.19 - <i>Shapefile</i> relativa aos pontos do ficheiro intermédio com um exemplo relativo à informação de um dos pontos.	45
Figura 3.20 - Exemplo do output produzido através da interpolação espacial usando o IDW...	46
Figura 3.21 - Resultado final da interpolação espacial após a aplicação de uma <i>mask</i> em forma do Alentejo.....	47
Figura 3.22 - Grelha de pontos com resolução espacial de 10km com formato do Alentejo.....	49
Figura 3.23 - Exemplo do ficheiro com os dados dos pontos da grelha de 10km.....	50
Figura 3.24 - Ficheiros das anomalias que foram usados no Interpolador.....	51
Figura 3.25 - Exemplo de um ficheiro final para um ponto da grelha de 10km.....	52
Figura 3.26 - Exemplo de um ficheiro final referente à precipitação de um ponto da grelha de 10km.....	53
Figura 3.27 - Exemplo de um ficheiro com os valores médios mensais das anomalias das temperaturas.....	54
Figura 3.28 - Extracto do ficheiro que contém os valores diários da precipitação para as nove estações da rede SAGRA consideradas neste trabalho.....	54
Figura 3.29 - Exemplo de um ficheiro para um ponto da grelha de 10km, com a informação meteorológica interpolada da rede SAGRA.	55
Figura 3.30 - Exemplo de um dos ficheiros finais para as séries climáticas perturbadas.	56
Figura 3.31 - <i>Shapefile</i> relativa à carta de solos produzida pelo IDRHa para a região do Alentejo e Algarve.....	57
Figura 3.32 - Tabela de atributos dos solos.....	57
Figura 3.33 - Exemplo do ficheiro final de informação dos solos.	58
Figura 4.1 - Fluxograma de funcionamento da plataforma de modelos da aplicação GISClmReg.	62
Figura 4.2 - Evapotranspiração de Referência [49].	63
Figura 4.3 - Representação da evapotranspiração de referência para os períodos: a) Semestre Seco e b) Anual, ambos do modelo DMI de 12km (mm/ano).....	66
Figura 4.4 - Esquema dos termos do balanço hídrico da zona de enraizamento em regadio [56].	66
Figura 4.5 - Mapas representativos do <i>Deficit</i> Hídrico: a) Semestre Seco e b) Anual, ambos para o modelo DMI de 12km (mm/ano).	67
Figura 4.6 - Interface para correr o Modelo de cálculo da ETo e DefH e para gerar os respectivos mapas.....	68
Figura 4.7 - Código para executar a função "Shell" e fazer correr o modelo de cálculo da evapotranspiração de referência e do <i>deficit</i> hídrico.	69
Figura 4.8 - Extracto do ficheiro de um ponto sobre o qual o corre o modelo de cálculo da evapotranspiração de referência e do <i>deficit</i> hídrico.	71
Figura 4.9 - Exemplo de organização da pasta onde se encontram os ficheiros de entrada para correr o modelo de cálculo da evapotranspiração de referência e do <i>deficit</i> hídrico e os respectivos ficheiros de saída.	71
Figura 4.10 - Extracto do ficheiro de output, para um dado ponto, produzido pelo modelo de cálculo da evapotranspiração de referência e do <i>deficit</i> hídrico.	72
Figura 4.11 - Exemplo de um extracto de pseudo-código do módulo de análise.....	74
Figura 5.1 - Esquematização da arquitectura do sistema do <i>WebSIG</i>	78
Figura 5.2 - Exemplo da estruturação de um ficheiro KML [60].	79

Figura 5.3 - Página do novo <i>Google Maps</i>	80
Figura 5.4 - Exemplo da página <i>web</i> inicial desenvolvida para este projecto.....	81
Figura 5.5 - Código do ficheiro HTML para a construção da página <i>web</i> para disponibilização dos mapas provenientes do GISclimReg.....	83
Figura 5.6 - Extracto da estrutura criada com os ficheiros KMZ que compõem a base de dados da página <i>web</i> criada.	84
Figura 5.7 - Função " <i>initialize</i> " presente no ficheiro <i>JavaScript</i> desenvolvido no âmbito deste projecto.	85
Figura 5.8 - Função " <i>docReady</i> " presente no ficheiro <i>JavaScript</i> desenvolvido no âmbito deste projecto.	85
Figura 5.9 - Função " <i>startMap</i> " presente no ficheiro <i>JavaScript</i> desenvolvido no âmbito deste projecto.	86
Figura 5.10 - Função " <i>toggleKML</i> " presente no ficheiro <i>JavaScript</i> desenvolvido no âmbito deste projecto.	86
Figura 5.11 - Função " <i>fillDropDowns</i> " presente no ficheiro <i>JavaScript</i> desenvolvido no âmbito deste projecto.	86
Figura 5.12 - Extracto do ficheiro CSS construído para a página <i>web</i>	87
Figura 5.13 - Página <i>web</i> com o mapa da Evapotranspiração Anual para o modelo DMI12.....	88
Figura 5.14 - Exemplo da <i>ComboBox</i> presente na página <i>web</i>	88

Lista de abreviaturas/acrónimos

AOGCM – Atmosphere-Ocean coupled General Circulation Model

API – Application Programming Interface

ASTER – Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer

CERN – Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire

CODASYL – Conference on Data Systems Languages

COTR – Centro Operativo e de Tecnologia de Regadio

CSS – Cascade Style Sheet

DefH – *Deficit* hídrico

DMI – Danmarks Meteorologiske Institut

DOE – Department of the Environment

DSS – Decision Support Systems

EIS – Executive Information Systems

ETo – Evapotranspiração de Referência

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations

GE – General Electric

GML – Generalized Markup Language

HC – Hadley Centre

HTML – Hypertext Markup Language

HTTP – HyperText Transfer Protocol

IA – Inteligência Artificial

IDRHa – Instituto De Desenvolvimento Rural e Hidráulica

IDW – Inverse Distance Weight

IPCC – Inter-governmental Panel on Climate Change

ISA – Instituto Superior de Agronomia

JSON – JavaScript Object Notation

KML – Keyhole Markup Language

LSC – Least Squares Collocation

MIS – Management Information Systems

NDVI – Normalized Difference Vegetation Index

NN – Nearest Neighbor

PRUDENCE – Prediction of Regional scenarios and Uncertainties for Defining European Climate change risks and Effects

PSMD – Potential Soil Moisture Deficit

RAM – Random Access Memory

SAGRA – Sistema Agrometeorológico para a Gestão da Rega no Alentejo

SGDB – Sistema de Gestão de Base de Dados

SGML – Standard Generalized Markup Language

SI – Sistema de Informação

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SRES – Special Report on Emission Scenarios

TOC – *Table Of Contents* (Tabela de Conteúdos)

TPS – Transaction Processing Systems

TSV – Tab Separated Values

VB – Visual Basic

VBA – Visual Basic for Applications

W3C – World Wide Web Consortium

WGS84 – World Geodetic System 1984

Agradecimentos

À minha melhor amiga, namorada e futura mulher Cátia, que é a lua da minha vida. Obrigado pela força, incentivo e paciência indispensáveis no decorrer deste percurso.

Aos meus pais e irmã pela força e coragem para concluir mais esta etapa da minha vida. Sem eles não poderia chegar onde cheguei.

Ao Gonçalo Gomes pelas horas infinitas a debater métodos e maneiras simplificadas de realizar certas tarefas.

Aos meus amigos que, de uma forma directa ou indirecta, contribuíram para a concretização e realização deste projecto.

À Professora Doutora Cristina Catita por me ter apresentado e dado a oportunidade de realizar este projecto em colaboração com o Instituto Superior de Agronomia e também pela ajuda sempre demonstrada. Foi uma experiência muito rica em aprendizagens.

Ao Dr. João Rolim pela enorme paciência em explicar-me sempre tudo detalhadamente para não haver o menor erro da minha parte e também por me ter permitido realizar este trabalho. Com ele fiquei a saber um pouco mais sobre como funcionam as coisas no âmbito da agronomia.

Agradeço ao projecto de investigação financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) PTDC/AAC-AMB/113639/2009 “Estudo do impacte das alterações climáticas nos sistemas de regadio e definição de medidas de adaptação” financiado através da FCT, a possibilidade de realizar este trabalho.

1. Introdução

O presente trabalho foi desenvolvido no âmbito do projecto da Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) PTDC/AAC-AMB/113639/2009: “Estudo do impacte das alterações climáticas nos sistemas de regadio e definição de medidas de adaptação”.

Para elaborar estudos do impacto das alterações climáticas sobre as necessidades de rega das culturas é necessário utilizar dados de cenário de alterações climáticas produzidos por modelos climáticos regionais (RCM – *Regional Climate Models*), que são distribuídos no espaço e possuem séries longas de dados (e.g. 30 anos) relativamente a várias variáveis climáticas. É também necessário ter em conta dados meteorológicos observados recolhidos em redes de estações meteorológicas, para caracterizar o cenário de base e para corrigir a “tendência” dos dados dos modelos climáticos. Assim, tem que se lidar com uma grande quantidade de dados espacialmente distribuídos sendo necessário a criação de um Sistema de Informação Geográfica (SIG) para gerir os dados.

O foco deste trabalho consiste em utilizar os dados climáticos fornecidos no âmbito de um projecto em curso no Instituto Superior de Agronomia (ISA), organizá-los para uma leitura mais fácil e criar uma *framework* no *ArcGIS* que permitisse manipular e analisar esses dados, interpolando-os, criando superfícies contínuas (*Rasters*) tanto para os dados meteorológicos observados como para os cenários de alteração climática produzidos pelos modelos regionais climáticos (RCM), calculando as anomalias dos dados e apresentá-las aos utilizadores em forma de mapas para assim poderem elaborar estudos numa forma mais fácil.

Para alcançar este objectivo propõe-se neste trabalho criar uma base de dados e desenvolver uma aplicação SIG, usando o *ArcGIS*[®], contendo dados georreferenciados relativamente aos solos e ao clima (dados climáticos observados em estações meteorológicas e cenários de alterações climáticas), que permita de forma automatizada realizar a sua análise, a produção de mapas e a disponibilização dessa informação via *web*, de acordo com a arquitectura apresentada na Figura 1.1. Os modelos climáticos regionais considerados foram: *HadRM3P* (cenários SRES A2 e B2) com uma resolução espacial de 50km, *HIRHAMh* (cenário A2) com uma resolução espacial de 25km e *HIRHAMhh* (cenário A2) com uma resolução espacial de 12km. Os dados dos modelos climáticos são relativos ao período 2071-2100 e foram obtidos através do projecto PRUDENCE (*Prediction of Regional scenarios and Uncertainties for Defining European Climate change risks and Effects*) [1]. Foi ainda considerada a rede de estações

meteorológicas do Sistema Agrometeorológico para a Gestão da Rega no Alentejo (SAGRA) para obtenção dos dados observados.

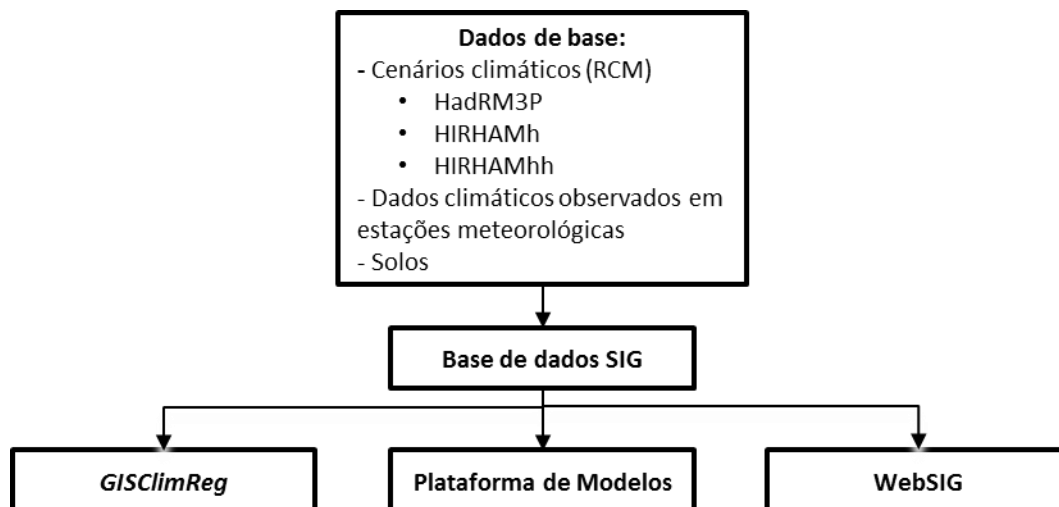


Figura 1.1 - Fluxograma da metodologia desenvolvida para este projecto.

Foi então desenvolvida a aplicação GISClmReg em *Visual Basic for Applications (VBA)* com três objectivos principais:

- 1) Permitir realizar a análise espacial dos dados dos cenários de alteração climática e a produção automática de mapas para as variáveis meteorológicas consideradas;
- 2) Ser uma plataforma de integração para modelos de simulação da rega permitindo a quantificação das necessidades de água das culturas a um nível regional;
- 3) Construção de uma página para a disponibilização de alguma da informação produzida pela aplicação;

Para alcançar o objectivo de integrar modelos de simulação do balanço hídrico na aplicação GISClmReg é necessário criar em primeiro lugar uma nova grelha de pontos com uma resolução espacial de 10km contendo dados relativos ao solo e ao clima, sendo necessário executar a interpolação espacial para uma grande quantidade de ficheiros de texto que contêm os dados meteorológicos (incluindo os *outputs* dos modelos RCM e os dados das estações meteorológicas). Para esta nova grelha, a aplicação GISClmReg corre o modelo simplificado de balanço hídrico, para cada ponto, calculando as necessidades hídricas das culturas e o *deficit* hídrico para os diferentes cenários de alteração considerados, produzindo os mapas respectivos.

Na implementação do SIG é considerada a região do Alentejo, Portugal, permitindo a avaliação dos impactos das alterações climáticas nas necessidades hídricas das culturas a um nível

regional. Como produto final produz-se um conjunto de mapas para as principais variáveis de interesse na análise dos impactos das alterações climáticas sobre as necessidades de rega das culturas.

O presente trabalho é constituído por seis capítulos. No primeiro capítulo, Introdução, foi feito um breve enquadramento sobre o que é necessário para fazer estudos sobre o impacto das alterações climáticas nos sistemas de rega.

No segundo capítulo, Revisão Bibliográfica, foi feita uma introdução aos sistemas de informação, especificando os sistemas de informação geográfica. Em seguida foi descrito como funcionam os sistemas de informação ambientais e os sistemas de apoio à decisão ambientais e por último termina-se com os SIG na gestão da rega.

No terceiro capítulo, Desenvolvimento da aplicação GISClmReg para gestão e análise de informação, é descrito a criação e desenvolvimento da aplicação GISClmReg, incluindo a base de dados SIG, assim como a construção de uma nova grelha de pontos que distam 10km.

No quarto capítulo, Integração de um modelo simplificado de cálculo das necessidades hídricas na aplicação GISClmReg, foi desenvolvido um modelo de cálculo da evapotranspiração de referência e do *deficit* hídrico que foi integrado na aplicação GISClmReg.

No quinto capítulo, Disponibilização da informação na Web, foi desenvolvida uma página *web* para apresentar os principais resultados das variáveis climáticas obtidas através da aplicação GISClmReg.

No sexto capítulo, Conclusões, fazem-se as considerações finais relativamente ao trabalho desenvolvido e definem-se algumas melhorias a ser feitas.

2. Fundamentos teóricos e revisão de literatura

2.1 Sistemas de Informação

Um Sistema de Informação (SI) pode ser definido como um conjunto de componentes interrelacionados que recolhem, processam, armazenam e distribuem informação para suportar a tomada de decisão e o controlo de uma organização. Como qualquer outro sistema, um SI inclui *inputs* (dados, instruções, etc.) e *outputs* (cálculos, relatórios, etc.), processando os *inputs* e produzindo os *outputs* que são enviados ao utilizador ou para outros sistemas, podendo incluir mecanismos de *feedback* que controlam o seu funcionamento [2].

Quando se aborda a questão dos SI não se pode contornar a questão do conceito de «informação», isto é, é importante efectuar a distinção entre dados e informação. Frequentemente as palavras «dados» e «informação» são utilizados de forma indiscriminada. Todavia são substancialmente diferentes: dados são factos em bruto, não resumidos ou analisados, enquanto informação são os dados que foram processados e convertidos numa forma útil. Os dados são, assim, a matéria-prima usada para produzir informação.

Um processo de decisão termina com o recurso ao conhecimento do decisor para interpretar a informação e tomar a decisão. O conhecimento será, então, a capacidade de utilizar informação.

Os sistemas de informação apoiam os processos de gestão de informação podendo ser classificados de diversas formas.

A visão “clássica” dos SI encontrada nos livros dos anos 80 e 90 [3] é uma pirâmide de sistemas que reflecte a hierarquia da organização, normalmente com os *Transaction Processing Systems* no fundo, seguido pelos *Management Information Systems*, *Decision Support Systems* e terminando com os *Executive Information Systems* no topo (Figura 2.1). Apesar de o modelo da pirâmide ainda continuar útil, desde que foi elaborado muitas novas tecnologias foram desenvolvidas e novas categorias de SI surgiram não sendo fácil inclui-las no modelo original da pirâmide.

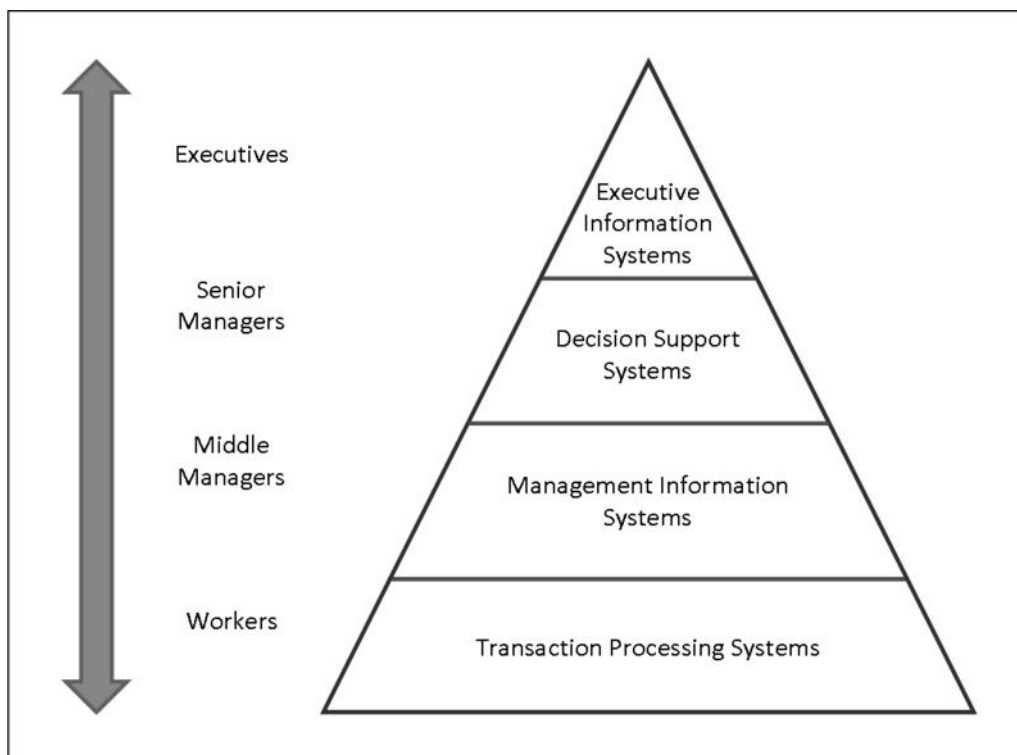


Figura 2.1 - Um modelo de quatro níveis de Sistemas de Informação baseado nos diferentes níveis de hierarquia de uma organização [3].

Como se pode observar na pirâmide da Figura 2.1, os SI dividem-se em quatro sistemas:

EIS – *Executive Information Systems* – este tipo de sistema é destinado a tomar decisões estratégicas, analisa e sumariza as informações. Os EIS tipicamente envolvem análise de dados e ferramentas de modelação tais como a análise “*what if*” para ajudar na tomada de decisões estratégicas.

DSS – *Decision Support Systems* – são sistemas especificamente projectados para ajudar a tomar decisões em situações nas quais existe incerteza sobre os possíveis resultados dessas decisões. Os DSS incluem ferramentas e técnicas para ajudar a recolher informação relevante e analisar opções e alternativas. Frequentemente, os DSS envolvem o uso de folhas de cálculo e bases de dados complexas para criar os modelos “*what if*”.

MIS – *Management Information Systems* – os MIS normalmente pegam nos dados provenientes dos *Transaction Processing Systems* e resumem-nos para os relatórios de gestão. Os relatórios provenientes dos MIS são usados pelos gestores e supervisores de operações.

TPS – *Transaction Processing Systems* – são sistemas projectados para processar de uma maneira eficiente e precisa transacções de rotina.

Nos tempos mais recentes muitos outros SI foram desenvolvidos, tal como os *Data Warehouses*, os motores de busca, os SIG, entre outros.

2.2 Sistemas de Informação Geográfica

Os SIG pertencem a uma área tecnológica que tem vindo a crescer de uma forma muito rápida nos últimos anos. Os SIG surgiram pela primeira vez por volta do ano 1960, com a descoberta de que se poderiam programar mapas através de código simples e armazená-los num computador permitindo futuras alterações caso fosse necessário.

No entanto, Maguire [4] concluiu que apesar das diferentes perspectivas e de alguns autores preferirem uma visão mais geral, enquanto outros especificam um ou outro aspecto, todas elas têm um ponto comum que é “o dos SIG serem sistemas que tratam com informação geográfica”.

Uma definição bastante abrangente foi dada pelo *Department of the Environment (DoE)*[5], Grã-Bretanha, que definiu os SIG como: “Um sistema para capturar, armazenar, verificar, manipular, analisar e mostrar informação que está espacialmente referenciada na Terra”.

Outra definição que surge é: “conjunto/sistema de *hardware, software* e procedimentos concebidos para apoiar a recolha, gestão, análise, modelação e visualização de dados georreferenciáveis para resolver problemas de planeamento e de gestão” [6].

E outra definição ainda: “Os SIG são sistemas assistidos por computador para a captura, armazenamento, recolha, análise e visualização de dados espaciais” [7].

O primeiro conceito a considerar será o de Sistema, que pode ser definido como um conjunto ou arranjo de elementos relacionados de tal maneira a formar uma unidade ou um todo organizado. Derivado deste, surge um Sistema de Informação que pode ser definido como um conjunto de elementos inter-relacionados que visam a recolha, entrada, armazenamento, tratamento, análise e fornecimento de informação. Neste caso, trata-se de Informação Geográfica, ou seja, um conjunto de dados ou valores que podem ser numéricos ou alfanuméricos, e cujo significado contém associações ou relações de natureza espacial. Se se tentar conjugar estas três definições pode-se definir SIG como um sistema capaz de reunir, armazenar, gerir e apresentar informação geográfica [8].

Os componentes dos SIG, tal como a própria definição de um SIG, têm várias interpretações. Há quem defenda que um SIG é composto por *hardware*, *software* e contexto humano e institucional [4]. Outros, acrescentam a componente de dados como essencial na abordagem dos SIG [9].

Nos dias de hoje, pode-se considerar que os SIG são constituídos por cinco componentes-chave (Figura 2.2) que são: o *hardware*, os dados, o *software*, as metodologias e os recursos humanos [9].



Figura 2.2 - Componentes dos SIG [6][10].

2.2.1 Hardware

O *hardware* pode ser considerado como sendo o equipamento que fisicamente possibilita a introdução, o armazenamento, o acesso e a visualização dos dados, ou seja, o conjunto de elementos físicos que são utilizados para o processamento automático da informação.

Para a especificação do *hardware* deve-se ter em atenção alguns requisitos, nomeadamente a necessidade de grande capacidade de memória e espaço em disco para o armazenamento de um grande volume de dados, que normalmente suportam as aplicações SIG. Para além disso, a necessidade de periféricos específicos é outra das exigências de um SIG, tendo em conta o tipo de dados com que trabalha. Estes periféricos podem ser uma mesa digitalizadora e/ou *scanner* (usado para converter dados a partir de cartas e outros documentos analógicos para formato digital) e uma impressora ou *plotter* (para a apresentação impressa dos resultados do processamento de dados).

2.2.2 Software

No que diz respeito a *software*, ele pode ser definido como os diferentes processos que permitem ao utilizador aceder, manipular e analisar os dados armazenados, ou seja, trabalhar a informação.

Quando se fala de *software*, falamos quer em termos de sistema operativo, quer em termos das diferentes aplicações ou programas.

Segundo Burrough [11], as aplicações que servem um SIG devem possuir cinco módulos básicos:

- Entrada de dados e verificação;
- Armazenamento de dados e gestão da base de dados;
- Saída de dados e apresentação;
- Transformação de dados;
- Interacção com o utilizador;

2.2.3 Metodologias

As metodologias incluem diversas operações relativas à forma como os dados são obtidos, inseridos no sistema, armazenados, geridos, transformados, analisados, e finalmente apresentados como *output*. As metodologias são processos/operações realizadas sobre os dados para responder às questões em estudo. A capacidade que um SIG tem de analisar espacialmente e responder a estas questões é o que difere este tipo de sistema de qualquer outro sistema de informação [12].

As metodologias incluem tarefas tais como ajustar o sistema de coordenadas, definir uma projecção, corrigir os erros resultantes da digitalização, converter os dados de vector para *raster* ou de *raster* para vector, a utilização de métodos de interpolação espacial para criar superfícies contínuas, etc. Pela sua importância para este trabalho descrevem-se de seguida em maior pormenor os métodos de interpolação espacial.

2.2.3.1 Interpolação Espacial

A interpolação espacial é um processo que usa dados observados, de uma área coberta com pontos de amostra, para a estimação de valores de propriedades em sítios sem amostra, dos quais não se conhece os valores [13].

Os SIG e a modelação estão a tornar-se, cada vez mais, poderosas ferramentas em estudos sobre a agricultura e na gestão de recursos naturais. Estimativas de variáveis ambientais espacialmente distribuídas são usadas em SIG e modelos. Isto geralmente implica que a qualidade dos resultados obtidos nestes estudos dependem dos métodos de interpolação espacial utilizados para lidar com a variabilidade espacial do solo, das variáveis meteorológicas, da distribuição espacial das culturas, etc. [13]

A maior parte dos dados relativos a variáveis ambientais (propriedades dos solos, clima), são recolhidos em pontos. O vector espacial destes dados permite uma estimativa mais precisa dos valores destas variáveis em sítios sem valores do que uma simples média entre pontos com dados. O valor de uma propriedade observada em diversos pontos pode ser interpolada encaixando um modelo de interpolação espacial adequado para a caracterização da variabilidade espacial.

Com o aumento do número de aplicações para dados ambientais, existe também uma maior preocupação sobre exactidão e precisão. Os resultados da interpolação espacial contêm um certo grau de erro e este erro pode muitas vezes ser estimado.

A interpolação espacial consiste na utilização de valores existentes para uma dada variável num conjunto de pontos de amostragem, para prever valores para esta variável em outros pontos não amostrados produzindo uma superfície contínua de valores da variável em estudo. O método mais simples de interpolação consiste numa média ponderada pela distância (ou inverso desta) das amostras aos pontos desconhecidos a interpolar. A Figura 2.3 exemplifica este tipo de interpolação.

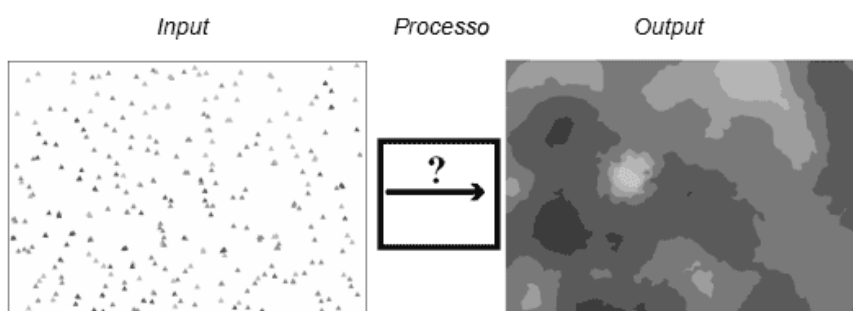


Figura 2.3 - Ilustração do processo de interpolação espacial, usando o método da média ponderada pelo inverso do quadrado da distância.

2.2.4 Recursos Humanos

Os recursos humanos incluem os gestores SIG, administradores de bases de dados, especialistas de aplicação, analistas de sistemas, e programadores. Eles são os responsáveis pela manutenção da base de dados geográfica e por dar suporte técnico. Os recursos humanos necessitam de ser formados para tomar decisões sobre qual o tipo de sistema a usar. Os recursos humanos associados a um SIG podem ser categorizados em três grupos: visualizadores, utilizadores em geral e especialistas SIG.

2.2.5 Dados

A componente de Dados é referido por San-Payo [9] como uma das mais importantes num SIG. Esta componente diz respeito aos dados que são armazenados numa ou mais bases de dados. Tendo em conta os dados que suportam um SIG, estes dividem-se em dois tipos: espaciais e não-espaciais.

Em relação ao primeiro, é de notar que muitas vezes os termos espacial e geográfico são usados de uma forma indiferenciada para referir elementos gráficos. No entanto, espacial refere-se a qualquer tipo de informação relativa a localização e pode incluir informação associada à engenharia, à detecção remota, assim como à cartografia. Por outro lado, geográfico refere-se apenas à informação sobre a posição na superfície da Terra ou próxima dela [14]. Os dados espaciais são, normalmente, obtidos a partir de uma ou mais fontes que podem ser cartas, fotografias aéreas, imagens de satélite, trabalho de campo ou até outras bases de dados.

No que concerne ao segundo tipo de dados, o termo não-espacial é usado como um sinónimo de atributo. Estes dados são associados aos dados espaciais e chegam normalmente, através de observações de campo, amostragens locais, censos, resultados estatísticos, entre outros.

Associada à componente de dados existe um factor que não deve ser ignorado e que diz respeito à existência de erros. Nalguns casos estes são inerentes aos próprios dados (os mapas e outros dados usados como entradas na base de dados são obtidos com recurso a medições com o grau de exactidão e os erros que lhes são associados). Noutras situações, os erros podem ser introduzidos por algumas operações realizadas pelos SIG. É importante reter que o erro é uma característica indissociável da informação geográfica e rigorosamente deveria ser considerado como uma das suas dimensões. Não o podendo ser, por razões de ordem prática, o reconhecimento da sua existência e sempre que possível a sua quantificação (por exemplo,

recorrendo a métodos estatísticos) são condições indispensáveis para garantir a obtenção de resultados fiáveis [15].

Apesar de ser impossível a remoção de todos os erros, é necessário que os responsáveis estejam sensibilizados para a sua existência, e seja feito um esforço para os gerir e manter num nível mínimo aceitável. Assim sendo, é essencial o cuidado com o controlo de qualidade dos dados utilizados, tal como com qualquer outra matéria-prima ou produto. Os efeitos de um controlo inexistente ou descuidado da qualidade dos dados poderão ser um desperdício de tempo e recursos.

Todos estes componentes precisam estar em harmonia uns com os outros para um SIG ter sucesso e nenhuma destas partes consegue funcionar sem as outras.

2.3 Sistemas de Informação Ambientais e Sistemas de Apoio à Decisão Ambientais

Os Sistemas de Informação Ambientais (SIA) e Sistemas de Apoio à Decisão Ambientais (SADA) são hoje em dia uma área com uma importância crescente na gestão ambiental e na ciência. Eles são usados ao nível da administração pública (comunidade, estado, nacional e nível internacional), na ciência, na gestão e como plataformas de informação para o público. Costuma dizer-se que os SIA e os SADA têm certas características que os distinguem dos tradicionais sistemas de informação, como por exemplo, complexidade da informação no tempo e no espaço ou a incerteza dos dados. Pela variedade e complexidade das tarefas envolvidas, diferentes metodologias podem ser uma opção quando se desenvolve um novo sistema, por exemplo: modelação, teorias de decisão, inteligência artificial, análise geográfica, estatística e muitas outras [16].

Tem havido muitas aproximações para identificar o que possa ser um SIA e um SADA e provavelmente estão tão certas como erradas conforme a perspectiva que o leitor tem. A definição dos sistemas depende do ponto de vista da pessoa que os está a definir podendo esta ser diferente, por exemplo, entre um engenheiro de *software* e um modelador [16].

As características-chave dos SIA e dos SADA costumam ser [16]:

- Complexos, por os dados espaciais estarem por vezes incompletos, vagos, ou na escala errada para a tarefa;

- Algoritmos complexos levam a ferramentas de *software* complexas que podem vir de qualquer domínio das tecnologias de informação, por exemplo, bases de dados, sistemas de meta informação, sistemas de monitorização em tempo real, sistemas de informação geográfica, inteligência artificial, etc.;
- Questões complexas de gestão de dados devido à variedade de fontes de dados autónomas;
- A ausência de um padrão para dados reais e metadados em muitos domínios (ou seja, aqueles que são utilizados por uma ampla comunidade, e não os padrões definidos por um único indivíduo ou organizações);
- O facto de que para resolver muitos problemas seja necessário trazer diferentes ferramentas para uma única solução holística, sendo que estas ferramentas usam diferentes algoritmos e/ou estratégias de gestão de dados;

Denzer, em 2005 [16], no seu artigo, foca-se neste último ponto e considera que para a construção de SIAs e SADAs são necessários quatro blocos de construção (Figura 2.4):

- Modelos;
- SIG;
- Sistemas de Apoio à Decisão (SAD);
- Sistemas de gestão de dados;

Segundo o autor [16], muitos dos SIA e SADA têm a combinação de pelo menos dois destes blocos de construção. E muitos outros têm apenas um dos blocos (modelos, SIG ou SAD) mas deveriam ter, pelo menos, um segundo, nomeadamente um sistema de gestão de dados apropriado. Vendo do ponto de vista das ferramentas de *software* pode-se entender o porquê dos quatro blocos de construção. Nesse contexto:

- O termo “modelos” denota modelos independentes ou individuais;
- O termos “SIG” denota as ferramentas de *software* geográficas;
- O termos “SAD” denota ferramentas baseadas em Inteligência Artificial (IA) e técnicas de cenários;
- O termo “Sistemas de gestão de dados” denota sistemas de bases de dados, incluindo sistemas de informação em rede;

Basicamente, isto quer dizer que existem quatro metodologias ou tecnologias, que se podem encontrar nos SIA e SADA, nomeadamente:

- Uma abordagem baseada em modelos numéricos (modelos),
- Uma abordagem baseada em sistemas de informação geográfica (SIG),
- Uma abordagem baseada em inteligência artificial – IA (SAD),
- Uma abordagem baseada em gestão de dados e de redes (Sistemas de gestão de dados),

tendo em conta possíveis sobreposições e tendo em conta que se tem, com alguma frequência, de combinar mais do que uma ferramenta numa solução de software para uma dada aplicação.

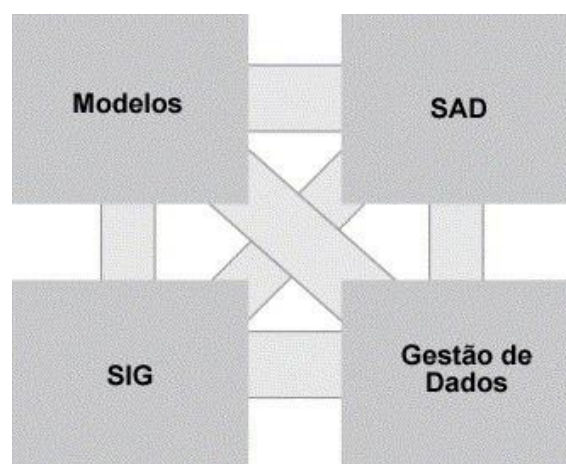


Figura 2.4 - Construção em blocos de um sistema de apoio à decisão ambiental, segundo Denzer [16].

2.4 SIG na gestão da rega

A melhoria da gestão da água para a rega tornou-se uma prioridade devido a razões económicas e ambientais especialmente nas regiões onde a água é escassa e deve ser poupada para outros usos, incluindo os ambientais. A gestão eficiente dos terrenos agrícolas e dos recursos hídricos na agricultura de regadio requer um conhecimento abrangente de muitas variáveis incluindo o clima, solo, culturas, disponibilidade hídrica, redes de distribuição de água para a rega, práticas de gestão, etc. A maioria destes dados são espacialmente distribuídos e a sua integração e uso no planeamento e gestão da rega promoveram a utilização dos SIG e outras tecnologias de informação. De facto, a utilização de bases de dados georreferenciadas permite uma maior troca e agregação de informação vinda de diferentes fontes, e uma maior interação desses dados com modelos e ferramentas de apoio à decisão. Por sua vez, o desenvolvimento de bases de dados SIG oferece uma grande oportunidade para uma melhor gestão de recursos naturais e implementação de muitos trabalhos e projectos subsequentes em diferentes áreas temáticas, desde a análise de risco passando pelo controlo e protecção do

ambiente até à avaliação da produtividade das culturas em diferentes condições de solo, clima e gestão [17].

No âmbito da rega têm sido desenvolvidas diversas aplicações SIG com o objectivo de avaliar as necessidades de rega das culturas a um nível regional ou para permitir a gestão dos recursos hídricos [18][19][20][21].

Para elaborar estudos dos impactos das alterações climáticas ou para fazer a gestão dos recursos hídricos no regadio são necessárias séries temporais de dados climáticos que compreendam um largo período de tempo.

El Nahry *et al.* [22] usaram a detecção remota, mais concretamente imagens Landsat ETM+ com resoluções na ordem dos 30m, como ferramenta para ajudar no estudo da eficiência do uso da terra e da água e na determinação da rentabilidade da agricultura de precisão tanto a nível económico como ambiental na província de Ismailia, no Egipto. O uso destas imagens foi para obter alguns parâmetros de superfície tais como o albedo, a temperatura, a emissividade e o *normalized difference vegetation index* (NDVI). Mais recentemente, em 2013, Raziei e Pereira [23] também usaram dados provenientes de imagens de satélite, mais concretamente do *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer* (ASTER) desenvolvido em conjunto pela NASA, pelo Ministério da Economia, Comércio e Indústria do Japão e pela Japan Space Systems, para analisar a variabilidade espacial da evapotranspiração de referência em todas as regiões climáticas do Irão. Estas imagens serviram para através do modelo de elevação digital poderem retirar os valores de altitude para os pontos da grelha que criaram, e que cobre toda a região de estudo, de modo a poderem ser usados na estimação da evapotranspiração nesses mesmos pontos.

Em termos de metodologia, Todorovic e Steduto apresentaram em 2003 [21] um projecto onde desenvolveram um SIG para gestão da rega na zona de Apulia, no sul de Itália. O trabalho deles consistiu no desenvolvimento de um sistema de gestão da água para rega, baseado na integração de um modelo de simulação das necessidades de rega num SIG, para ser usado pelas autoridades locais. Além disso, descrevem abordagens de métodos de modelação e a customização de aplicações SIG para a criação de cenários de rega, com o objectivo de escolher o padrão de culturas mais apropriado para a área sob investigação, estimando as necessidades de rega e os correspondentes défices e excedentes de rega, facilitando assim a exploração dos resultados de tal análise.

Assim sendo o trabalho deles ficou dividido nas seguintes etapas:

- Descrever a área de estudo;
- Desenvolvimento da base de dados SIG:
 - Base de dados climática;
 - Base de dados dos solos;
 - Outras bases de dados (dados com os limites administrativos e de rega, base de dados topográfica e informação do uso do solo);
- Integração da base de dados e a customização do SIG;
- Modelo de rega;
- Modelo de produção de culturas:
 - Aproximação mecânica,
 - Aproximação estatística;

Nos estudos sobre a gestão da rega é normalmente usado um modelo de balanço hídrico do solo, que corre num ambiente SIG, usando uma abordagem de vector [18][20], onde foram definidos um conjunto de polígonos homogéneos nos quais se correram as simulações, ou usando grelhas de dados relativos ao clima, ao solo e às culturas [19][21]. Mais recentemente Todorovic *et al.* [24], em 2013, calcularam a evapotranspiração de referência (ET_o) para a bacia do Mediterrâneo, utilizando as estações meteorológicas da base de dados do CLIMWAT 2.0 [25], produzindo mapas *raster* das necessidades hídricas das culturas, utilizando o método de Hargreaves-Samani para o cálculo da evapotranspiração de referência.

Um bom exemplo de um trabalho em que se combina SIG com modelos de simulação da rega para avaliar os impactos das alterações climáticas no regadio é dado por Rodríguez Díaz *et al.* [26], em 2007, que apresentaram um estudo sobre os impactos das alterações climáticas nas necessidades de rega na bacia do rio Guadalquivir no sul de Espanha.

Este estudo modelou as necessidades de água para a rega e apresentou um aumento de entre 15 a 20% nas necessidades de rega anuais, dependendo da localização e do tipo de cultura juntamente com as alterações climáticas anuais para o ano 2050. Foram utilizados cenários de alterações climáticas provenientes do modelo climático global *HadCM3* (modelo acoplado de circulação geral atmosfera-oceano (AOGCM) desenvolvido pelo *Hadley Center for Climate Prediction and Research*). O modelo tem uma resolução espacial de 2.5° x 3.75° (latitude por longitude) o que resultou numa grelha com resolução de 280km x 320km por toda a Espanha. Para produzir projecções de possíveis alterações no clima global, o GCM é forçado com cenários futuros onde concentrações mais elevadas de CO₂ atmosférico são dependentes de diferentes níveis de actividade antropogénica. Os cenários são definidos para capturar

diferentes “histórias” da evolução das sociedades que reflectem diferentes taxas de mudança demográfica, actividade industrial, dependência de combustíveis fósseis e outros indicadores sócio-económicos. As emissões baseiam-se nas definidas pelo *Inter-governmental Panel on Climate Change* (IPCC)[27] e que são conhecidas por *Special Report on Emission Scenarios* (SRES). Apesar de existirem quatro cenários SRES, para o estudo foram considerados os cenários A2 e B2, respectivamente, representando fortes valores económicos (A2) e fortes valores ambientais (B2).

Neste estudo os dados dos cenários de alterações climáticas foram interpolados para uma grelha *baseline* com resolução de 10' latitude/longitude que continham uma média mensal do clima à superfície do globo, excluindo a Antártida, para o período de 1961-1990. Os cenários foram, de seguida, aplicados à *baseline* para gerar conjuntos de dados climáticos perturbados relativos aos cenários futuros de alteração climática. Usando o *Kriging* como método de interpolação espacial, as alterações previstas pelo modelo HadCM3 para a temperatura, precipitação, radiação solar, velocidade do vento e humidade relativa foram aplicadas para os valores da *baseline*. Como nem a *baseline* nem os dados do modelo HadCM3 tinham dados para a evapotranspiração de referência foi usada uma técnica desenvolvida por Hess e Knox [28] para calcular uma média mensal para a evapotranspiração para cada *pixel* da *baseline* e para cada cenário futuro SRES. Para este cálculo foi usada a equação FAO Penman-Monteith para calcular a evapotranspiração de referência para cada *pixel* da grelha.

Como indicador agroclimático, optaram por usar o *deficit* potencial de humidade do solo (potential soil moisture deficit – PSMD) para avaliar o impacto das alterações climáticas nas necessidades de rega na bacia do rio Guadalquivir. Para estimar o valor deste indicador, foi usado um modelo de balanço hídrico mensal que usa valores de evapotranspiração e precipitação. O PSMD para cada *pixel* da grelha no final de cada mês é calculado do seguinte modo [26]:

$$PSMD_i = PSMD_{i-1} + ET_{o_i} - P_i \quad (2.1)$$

onde:

- PSMD_{*i*} - *deficit* potencial de humidade do solo no final do mês *i* (mm)
- PSMD_{*i-1*} - *deficit* potencial de humidade do solo no final do mês *i-1* (mm)
- ET_{*o*} - evapotranspiração potencial no mês *i* (mm)
- P_{*i*} - precipitação no mês *i* (mm)

No início do período de rega, o PSMD é assumido como sendo zero. Para visualizar o impacto espacial das alterações climáticas, os valores calculados do PSMD para cada *pixel* e para cada

cenário foram importados para um SIG e foram classificados e mapeados. Uma série de mapas das zonas agroclimáticas foram produzidos para a *baseline* e para cada cenário de alteração climática (Figura 2.5).

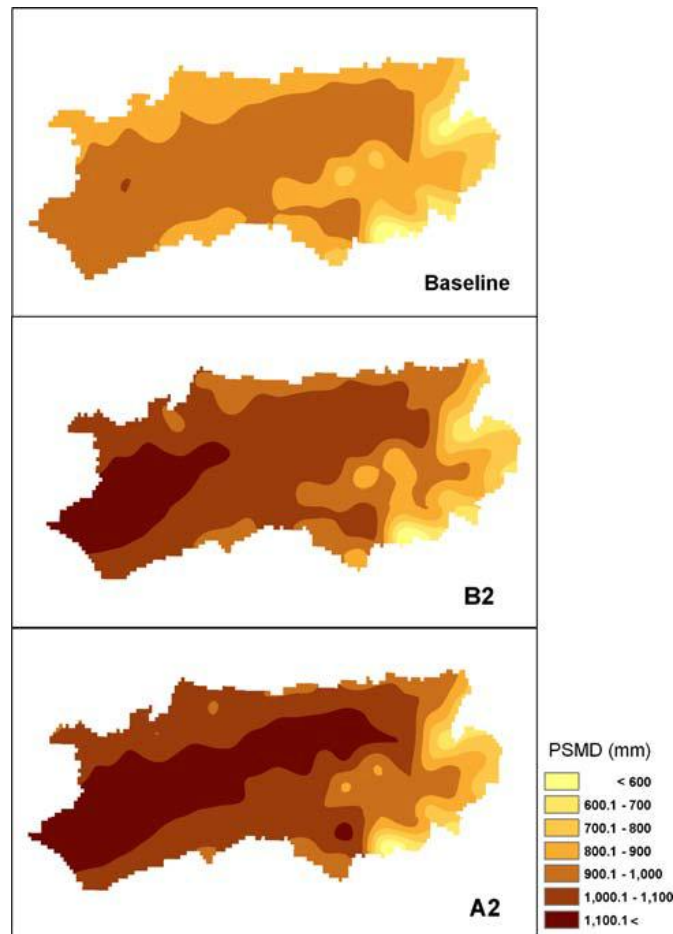


Figura 2.5 - Mudança agroclimática prevista (PSMD em mm) entre a *baseline* (1961-1990) e o ano de 2050 para os cenários de emissão SRES seleccionados (A2 e B2) [26].

A metodologia utilizada por estes autores [26] é bastante útil para produzir mapas acerca dos impactos das alterações climáticas nas necessidades de rega. No entanto existem algumas limitações que se podem apontar. A principal limitação foi o efeito de escala, uma vez que o modelo HadCM3 fornece uma escala maior do que a *baseline*, mais pequena. A escala dos modelos GCM é inadequada para realizar estudos de impactos na agricultura, muito dependentes das condições locais, assim no futuro este tipo de metodologia deverá ser utilizado recorrendo a dados de modelos climáticos regionais (RCM – *regional climate models*), com resoluções espaciais tipicamente de 50km, que permitem simular de um modo mais preciso o clima de uma dada região.

Recordando a estrutura em blocos de Denzer (Figura 2.4) falada anteriormente na secção 2.3, podemos observar que este estudo elaborado para a bacia do rio Guadalquivir segue essa mesma abordagem onde se tem o desenvolvimento de uma base de dados, com a utilização de um SIG e com o desenvolvimento de um modelo de cálculo para as necessidades hídricas das culturas.

3. Desenvolvimento da aplicação GISClmReg para gestão e análise da informação

Para realizar a gestão e análise da informação climática contida na base de dados SIG (secção 3.1) foi criada a aplicação GISClmReg. Na Figura 3.1 pode-se observar uma esquematização pormenorizada da metodologia desenvolvida.

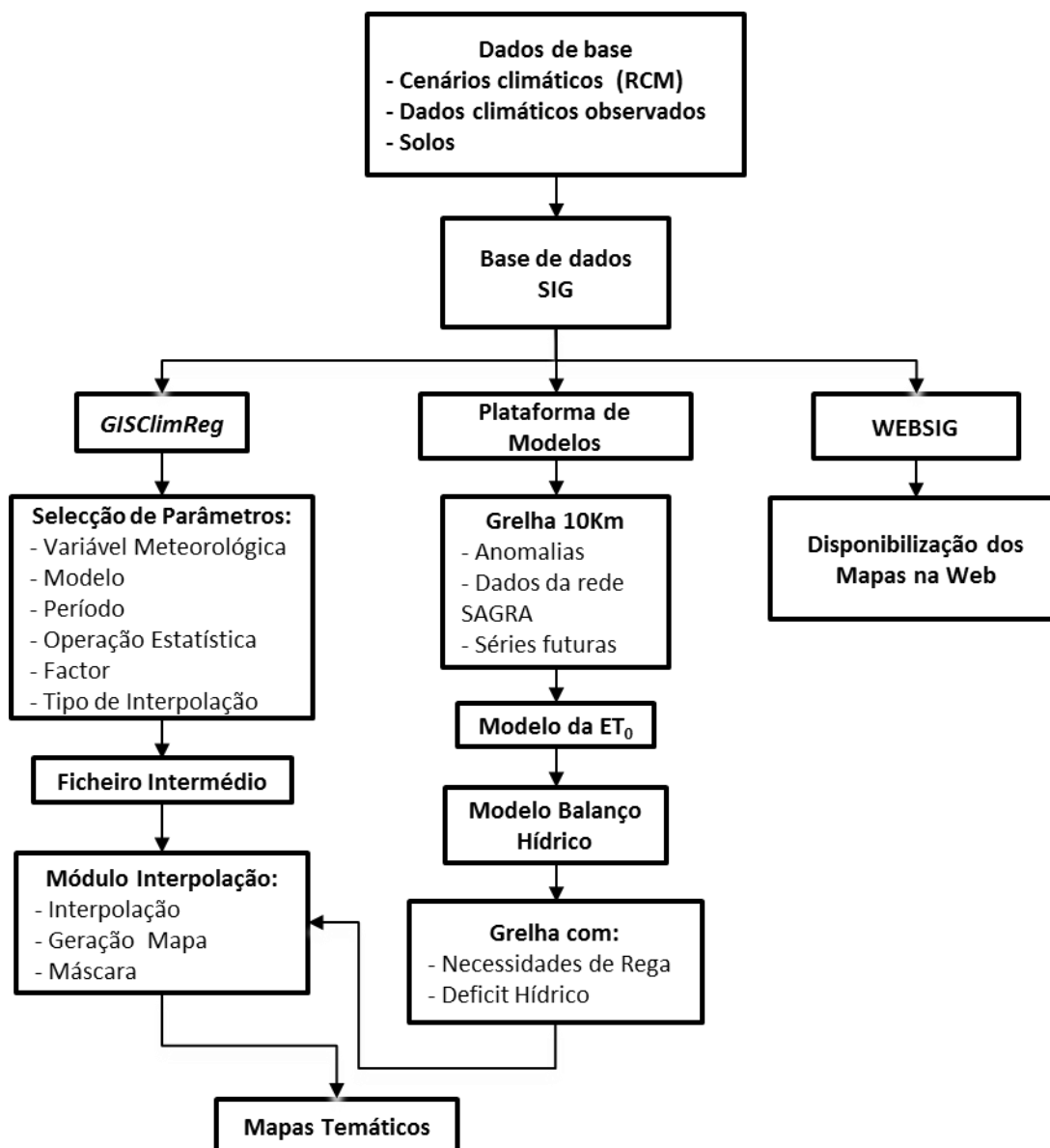


Figura 3.1 – Esquema geral da metodologia desenvolvida neste trabalho.

3.1 Estruturação da Base de Dados da aplicação GISClmReg

A primeira fase deste trabalho consistiu na estruturação da base de dados relativa aos dados provenientes dos modelos climáticos *HadRM3P*, *HIRHAMh* e *HIRHAMhh*. Nesta secção

descrevem-se os dados de base dos modelos RCM, a estrutura da base de dados da aplicação GISclimReg, a aplicação informática auxiliar para processar os dados climáticos e as diversas etapas realizadas incluindo o cálculo das anomalias climáticas para as diferentes variáveis meteorológicas consideradas.

SGDB vs. Sistema de ficheiros

Um SGBD é o conjunto de programas de computador responsáveis pela gestão de uma base de dados. O principal objectivo é retirar da aplicação cliente a responsabilidade de gerir o acesso, a manipulação e a organização dos dados. O SGBD disponibiliza uma interface para que os clientes possam incluir, alterar ou consultar dados previamente introduzidos [29]. Alguns dos SGBDs mais conhecidos são o *MySQL*, *PostgreSQL*, *Microsoft Access*, *Oracle*, *SQL Server*, entre outros.

Desde os primórdios dos computadores, armazenar e manipular dados tem sido uma questão importante. O primeiro Sistema de Gestão de Base de Dados (SGBD) polivalente, desenvolvido por Charles Bachman na *General Electric* (GE) no início dos anos 60, ficou conhecido como *Integrated Data Store*. Ficou formado assim o modelo de rede de dados, que se tornou padrão na *Conference on Data Systems Languages* (CODASYL) e influenciou fortemente os sistemas de base de dados durante os anos 60 [29].

Considere-se o seguinte exemplo, segundo Ramakrishnan e Gehrke [29]: numa dada organização existe geralmente uma grande quantidade de dados. Estes dados são acedidos paralelamente por vários utilizadores. Questões sobre os dados devem ser respondidas rapidamente, alterações efectuadas aos dados por diferentes utilizadores precisam ser aplicadas de forma consistente, e o acesso a certos dados deve ser restrito. Estes dados podem ser guardados em ficheiros do sistema. Esta aproximação tem bastantes inconvenientes, incluindo os seguintes:

- Provavelmente não existe memória principal (*Random Access Memory* - RAM) no computador para guardar todos os dados. Os dados para serem acedidos têm que estar em memória e se não se consegue tê-los todos na memória ao mesmo tempo convém guardar os dados num dispositivo de armazenamento como um disco rígido, e ir carregando a memória conforme for necessário;

- Têm-se que escrever programas especiais para responder a cada questão que o utilizador queira responder sobre os dados. Estes programas serão provavelmente complexos devido à quantidade de dados que tem que pesquisar;
- Os dados têm que ser protegidos contra mudanças inconsistentes feitas por utilizadores que acedem aos dados ao mesmo tempo. Se as aplicações precisam de endereçar os detalhes dessa acessibilidade concorrente, isto adiciona-lhes bastante complexidade;
- É preciso assegurar que os dados são restaurados para um estado consistente se o sistema falhar enquanto estão a ser efectuadas mudanças;
- Os sistemas operativos apenas providenciam um sistema de palavra-passe para segurança, o que não é suficientemente flexível para assegurar políticas de segurança nas quais diferentes utilizadores têm acesso a diferentes partes dos dados;

Um SGDB é uma peça de *software* que torna as tarefas anteriores mais fáceis. Armazenando os dados num SGDB em vez de ter uma colecção de ficheiros, pode-se usar as características dos SGDB para gerir os dados de uma forma robusta e eficiente [29].

Apesar da opinião dos autores Ramakrishnan e Gehrke [29], para o caso concreto deste trabalho e após alguma análise, decidiu-se optar pela construção da base de dados em ficheiros.

Analisando os pontos supracitados, chegou-se à conclusão que não se iriam verificar nenhuma das situações enumeradas:

- O volume de dados não é grande (em termos de espaço de armazenamento, como será explicado mais à frente);
- Não surgirão problemas de concorrência pois não se prevê que mais do que uma pessoa aceda aos dados simultaneamente;
- Também não haverá problemas de alterações e inconsistência pois os dados serão apenas para consulta e não se pretende realizar alterações aos mesmos;
- Tendo os dados em ficheiros também tornaria a sua portabilidade muito mais viável, quer em termos de computador, quer em termos de sistema operativo;

Dito isto, um dos primeiros objectivos deste trabalho foi o de reorganizar os ficheiros fornecidos pelos modelos climáticos regionais (RCM) de modo a ficarem num formato comum e mais fáceis de compreender. Os ficheiros que continham a informação relativa aos pontos

das grelhas dos modelos RCM também tiveram que sofrer algumas alterações. Na Figura 3.2 pode-se ver um exemplo de como os ficheiros dos dados climáticos estavam estruturados.

1	Ano	Mes	Precip4	Precip5	Precip6	Precip7	Precip8	Precip9	Precip10	Precip11	Precip12
2	1961	1	-699.716	-75.11	-753.073	-722.433	-725.865	-71.267	-705.894	-714.626	-695.837
3	1961	2	-669.484	-700.247	-687.071	-65.243	-676.292	-65.625	-663.905	-671.347	-648.678
4	1961	3	-708.903	-744.581	-75.74	-722.449	-750.576	-744.023	-736.388	-743.714	-697.144
5	1961	4	-819.459	-816.789	-81.395	-787.227	-831.825	-840.144	-827.081	-821.133	-763.406
6	1961	5	-828.194	-836.292	-881.225	-811.889	-875.917	-904.305	-884.202	-883.324	-824.349
7	1961	6	-103.829	-101.551	-104.297	-101.723	-108.185	-109.724	-110.349	-110.602	-109.91
8	1961	7	-108.194	-106.319	-109.616	-107.764	-112.725	-112.875	-112.849	-112.421	-112.195
9	1961	8	-105.1	-102.203	-105.603	-105.269	-108.227	-108.21	-108.771	-109.65	-110.4
10	1961	9	-984.944	-978.237	-100.69	-100.851	-103.792	-103.151	-102.972	-103.051	-103.674
11	1961	10	-733.043	-736.132	-750.712	-731.065	-76.587	-763.566	-756.224	-75.815	-746.749
12	1961	11	-708.015	-739.337	-738.258	-727.908	-738.049	-740.904	-73.872	-74.693	-732.254
13	1961	12	-557.186	-58.272	-612.291	-603.688	-634.576	-621.019	-596.109	-595.658	-57.975

Figura 3.2 - Extracto de um dos ficheiros originais para a variável *LWnet* do modelo DMI de 12km para o período de controlo.

Cada um destes ficheiros encontrava-se no formato *Tab Separated Values* (TSV) e existia um ficheiro por cada uma das variáveis e modelo. Cada ficheiro era constituído pelos seguintes campos nas colunas:

- Anos;
- Meses;
- Nomes dos pontos de recolha (Precip4, Precip5, (...));

Nos ficheiros de origem a informação encontrava-se agrupada por variável, com um ficheiro a conter todos os pontos da grelha do modelo climático. Na nova estrutura de dados organizou-se de modo a agregar, para cada ponto da grelha dos modelos climáticos, todas as variáveis meteorológicas.

A informação de cada um destes pontos encontrava-se num ficheiro distinto, também em formato TSV e continha a estrutura apresentada na Figura 3.3.

Cada um dos modelos climáticos tem uma grelha de pontos associado. O modelo *HIRHAMhh* continha uma grelha de pontos com uma resolução espacial de 12km o que perfazia um total de 420 pontos, o modelo *HIRHAMh* possui uma resolução espacial de 25km e no total tinha 121 pontos e por fim o modelo *HadRM3P* com uma resolução espacial de 50km continha uma grelha de pontos com um total de 36 pontos para a variável meteorológica do vento e 35 pontos para as restantes variáveis.

Os campos presentes neste ficheiro são, como se pode observar na Figura 3.3, “lat” que representa a latitude do ponto em graus decimais, “long” que representa a longitude do ponto em graus decimais, “lsm” que corresponde à máscara “*land sea mask*” que diz se o ponto está situado no mar (0) ou não (1), “oro” que representa a orografia de cada ponto e “ordem” que é a ordem como os pontos foram caracterizados.

1	lat	long	lsm	oro	Ordem
2	36,9664	-8,58503	0	0,00306109	1
3	37,0174	-8,46497	0	0,00306109	2
4	37,0683	-8,34473	0	0,00306109	3
5	37,1191	-8,2243	1	56,2785	4
6	37,1697	-8,1037	1	150,417	5
7	37,2201	-7,98292	1	301,538	6
8	37,2704	-7,86196	1	421,556	7
9	37,3205	-7,74081	1	286,356	8
10	37,3705	-7,61949	1	176,392	9
11	37,4204	-7,49798	1	128,526	10
12	37,47	-7,3763	1	146,556	11
13	37,5196	-7,25443	1	221,607	12
14	37,5689	-7,13238	1	209,942	13
15	37,6181	-7,01016	1	159,413	14

Figura 3.3 - Exemplo do ficheiro de informação dos pontos para o modelo DMI com resolução espacial de 12km antes de ser corrigido.

Este ficheiro, com a descrição dos pontos das grelhas do modelo, também sofreu alterações de modo a poder ser utilizado mais facilmente. A coluna “lsm” foi retirada assim como a coluna “oro” pois não eram relevantes para o que era pretendido fazer. Foram adicionadas duas novas colunas: “NomeJoao” e “Nome”. A coluna “NomeJoao” permite identificar mais facilmente os pontos antigos tal como “Precip1”, “Precip2”, etc., atribuídos pelo autor da recolha dos dados. A coluna “Nome” ficou com o novo nome do ponto. O novo nome de cada ponto é constituído pelo nome do modelo e resolução ao qual pertence acrescentando no final a sua “ordem”. O resultado final pode ser visto na Figura 3.4.

1	lat	long	Ordem	NomeJoao	Nome
2	36,9664	-8,58503	1	Precip1	DMI12KM_1
3	37,0174	-8,46497	2	Precip2	DMI12KM_2
4	37,0683	-8,34473	3	Precip3	DMI12KM_3
5	37,1191	-8,2243	4	Precip4	DMI12KM_4
6	37,1697	-8,1037	5	Precip5	DMI12KM_5
7	37,2201	-7,98292	6	Precip6	DMI12KM_6
8	37,2704	-7,86196	7	Precip7	DMI12KM_7
9	37,3205	-7,74081	8	Precip8	DMI12KM_8
10	37,3705	-7,61949	9	Precip9	DMI12KM_9
11	37,4204	-7,49798	10	Precip10	DMI12KM_10
12	37,47	-7,3763	11	Precip11	DMI12KM_11
13	37,5196	-7,25443	12	Precip12	DMI12KM_12
14	37,5689	-7,13238	13	Precip13	DMI12KM_13
15	37,6181	-7,01016	14	Precip14	DMI12KM_14

Figura 3.4 - Exemplo do ficheiro de informação dos pontos para o modelo DMI com resolução espacial de 12km depois de ser corrigido.

Apesar de os ficheiros originais dos modelos RCM não voltarem a ser utilizados, foi importante alterá-los e organizá-los pois a construção dos ficheiros individuais para cada ponto da base de dados SIG dependia destes. Para construir os novos ficheiros, leu-se o título da coluna (Figura 3.2) e comparou-se com o valor da coluna “NomeJoao” do ficheiro dos pontos (Figura 3.4). Quando era encontrada a linha correcta, usou-se o valor da coluna “Nome” nessa mesma linha para atribuir o nome ao novo ficheiro. Em cada um destes novos ficheiros foi incluído também a longitude e a latitude do respectivo ponto.

Tendo esta informação de base, e tendo sido decidido criar um ficheiro por cada um dos pontos das grelhas dos modelos contendo todas as variáveis meteorológicas, a estrutura dos novos ficheiros ficou a seguinte:

- Latitude (coordenadas em graus decimais);
- Longitude (coordenadas em graus decimais);
- NomeJoao (nome original, ou seja, o nome que ele trazia nos dados originais para se surgirem dúvidas quanto ao nome do ponto poder-se consultar a informação antiga);
- Nome (novo nome do ponto para a sua identificação na base de dados SIG);
- Ano;
- Mês;
- Todas as variáveis existentes (lwnet, rh2m, swnet, t2m, t2max, t2min, td2m, w10m e precip sendo que nem todos os modelos contêm as mesmas variáveis);

Na Figura 3.5 está um exemplo de como ficou organizado um dos ficheiros da nova base de dados SIG.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	lat	long	NomeJoao	Nome	Ano	Mes	LWnet	precip	SWnet	t2m	t2max	t2min	td2m	w10m
2	37,1191	-8,2243	Precip4	DMI12KM_4	1961	1	-69.9716	0.251897	99.6659	282.147	287.621	278.08	274.565	3.56611
3	37,1191	-8,2243	Precip4	DMI12KM_4	1961	2	-66.9484	2.00478	129.794	285.986	290.873	282.146	279.931	3.63141
4	37,1191	-8,2243	Precip4	DMI12KM_4	1961	3	-70.8903	0.40884	176.706	289.892	295.166	285.68	283.329	3.97057
5	37,1191	-8,2243	Precip4	DMI12KM_4	1961	4	-81.9459	1.22309	224.677	290.077	295.268	285.385	280.526	4.85257
6	37,1191	-8,2243	Precip4	DMI12KM_4	1961	5	-82.8194	1.83865	253.472	292.983	297.746	288.219	284.394	3.87412
7	37,1191	-8,2243	Precip4	DMI12KM_4	1961	6	-103.829	0.00912348	307.161	297.055	303.103	291.36	284.267	5.1813
8	37,1191	-8,2243	Precip4	DMI12KM_4	1961	7	-108.194	0.307814	301.746	300.099	307.094	293.923	286.19	5.52874
9	37,1191	-8,2243	Precip4	DMI12KM_4	1961	8	-105.1	0.00038147	268.434	299.578	306.586	293.797	285.416	5.3713
10	37,1191	-8,2243	Precip4	DMI12KM_4	1961	9	-98.4944	0.000572205	225.945	299.227	304.96	294.217	285.759	3.78207
11	37,1191	-8,2243	Precip4	DMI12KM_4	1961	10	-73.3043	2.53251	129.952	292.338	297.006	288.687	283.55	3.76678
12	37,1191	-8,2243	Precip4	DMI12KM_4	1961	11	-70.8015	6.07216	91.2168	286.834	291.629	283.217	272.182	4.32703
13	37,1191	-8,2243	Precip4	DMI12KM_4	1961	12	-55.7186	3.22781	72.1395	285.216	289.286	281.78	277.531	4.45003
14	37,1191	-8,2243	Precip4	DMI12KM_4	1962	1	-56.6021	2.75011	82.1366	284.902	288.795	281.742	279.261	3.57611
15	37,1191	-8,2243	Precip4	DMI12KM_4	1962	2	-55.1087	2.49689	103.354	285.894	289.488	283.097	281.789	5.39849
16	37,1191	-8,2243	Precip4	DMI12KM_4	1962	3	-70.0327	0.79972	182.783	288.847	293.737	284.791	282.958	4.12667
17	37,1191	-8,2243	Precip4	DMI12KM_4	1962	4	-69.0802	1.01172	192.147	286.544	291.467	282.016	279.532	4.8299
18	37,1191	-8,2243	Precip4	DMI12KM_4	1962	5	-91.249	0.255235	278.517	291.914	297.8	286.314	281.73	5.09854
19	37,1191	-8,2243	Precip4	DMI12KM_4	1962	6	-102.142	0.116809	309.382	297.789	304.063	292.163	285.35	4.7496
20	37,1191	-8,2243	Precip4	DMI12KM_4	1962	7	-103.326	0.0466824	298.638	299.464	306.177	293.856	287.834	5.11065

Figura 3.5 - Extracto de um ficheiro da nova base de dados SIG.

Para criar esta nova base de dados SIG de uma maneira automatizada foi desenvolvido um programa em VBA no ArcGIS que transforma os ficheiros da antiga base de dados (dados originais dos modelos RCM) nos ficheiros da nova base de dados. Uma representação do processo de criação da nova base de dados é apresentada na Figura 3.6.

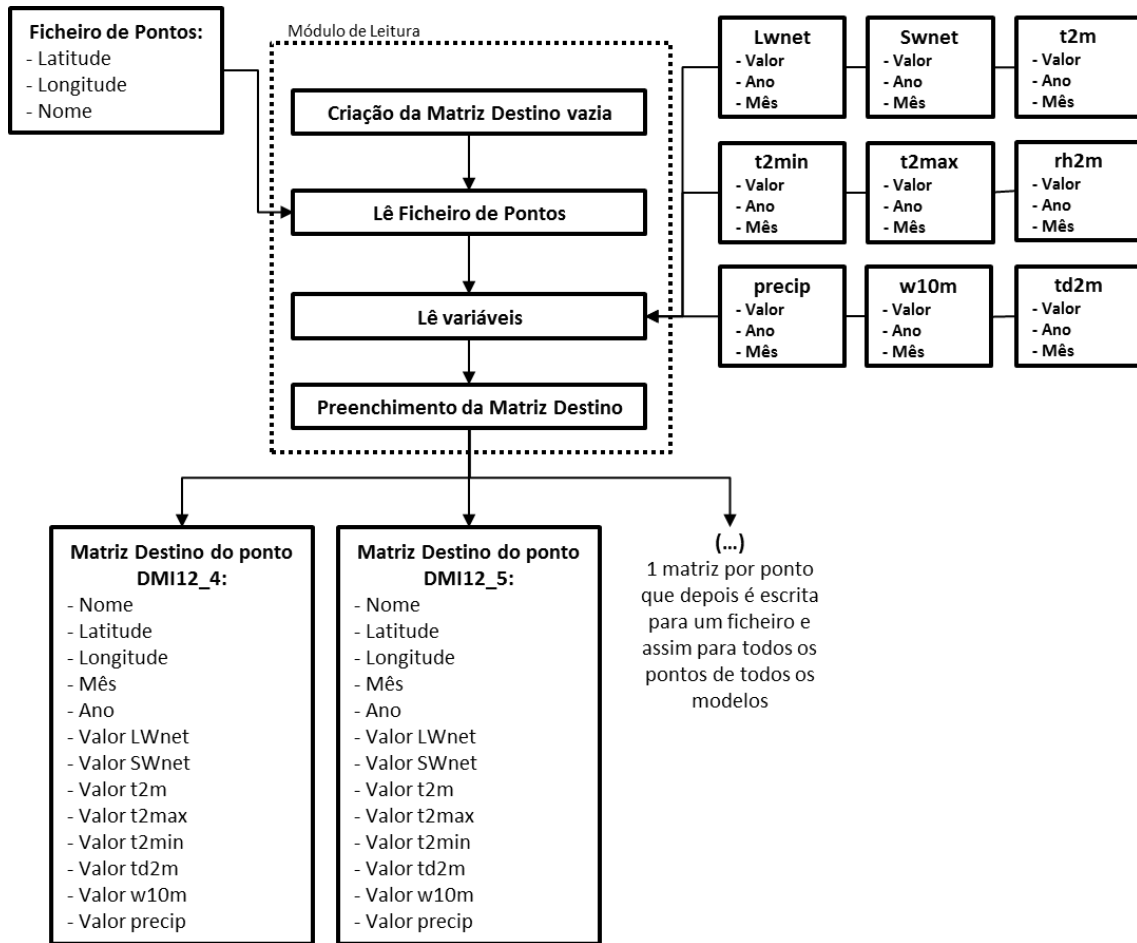


Figura 3.6 - Fluxograma representativo do processo de criação da nova base de dados SIG, sendo que a tracejado representa-se o programa auxiliar desenvolvido em VBA para automatizar o processo.

Este processo representado na Figura 3.6 foi automatizado para se obter a nova base de dados de uma maneira mais rápida. A automatização do processo demorou um pouco a ser acertada pois geria-se muita informação ao mesmo tempo e era necessário verificar que a informação final estava correcta, certificando que a mesma não tinha sido adulterada pela automatização do processo.

Um esquema representativo do que foi feito partindo dos dados originais até chegar à nova base de dados está representado na Figura 3.7.

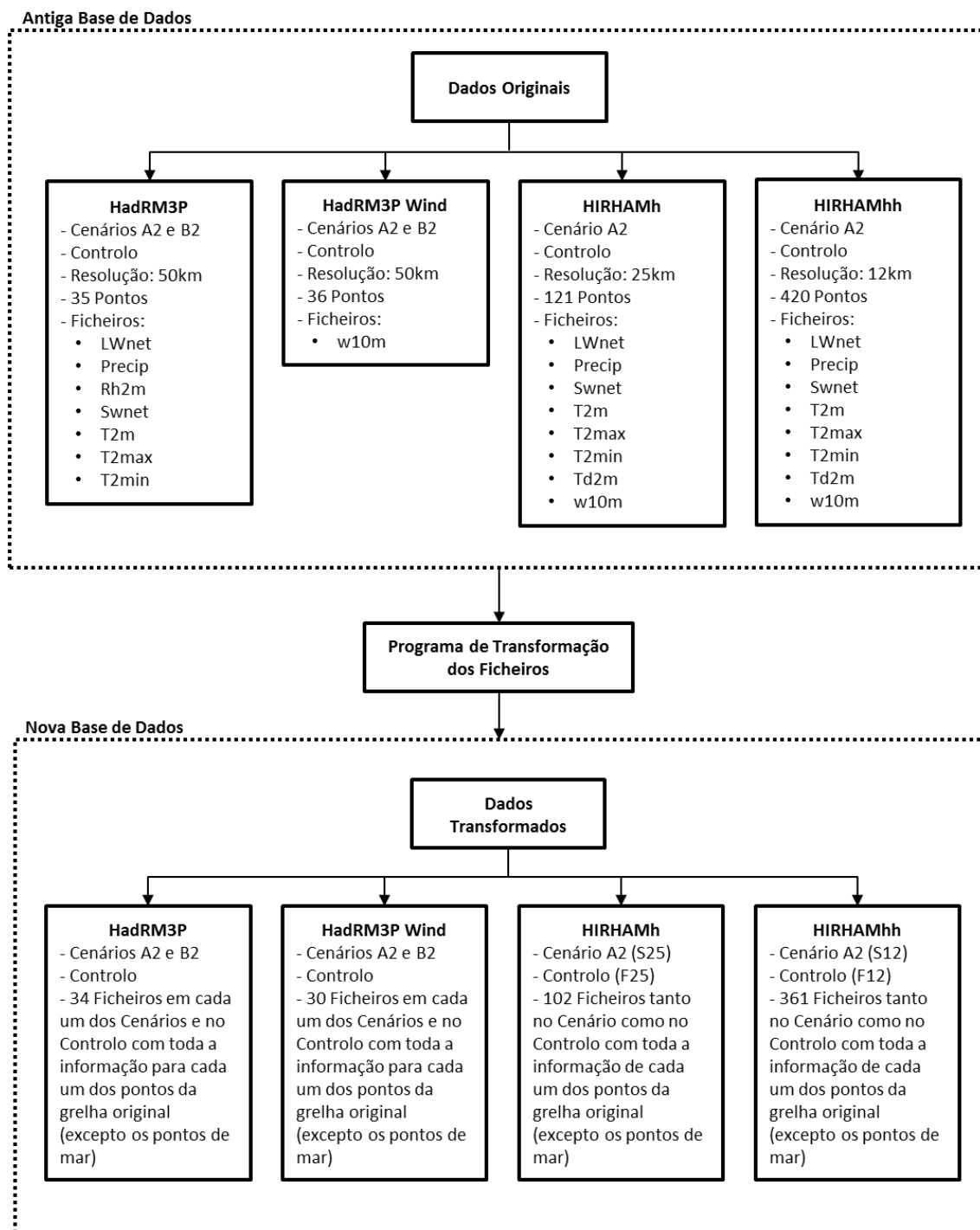


Figura 3.7 – Esquema representativo da transformação realizada na estrutura dos dados da antiga para a nova base de dados.

A Tabela 3.1 e Tabela 3.2 apresentam algumas diferenças da antiga e da nova base de dados, onde se pode verificar que a nova base de dados ocupa quase o dobro do espaço em disco e aumentou (em cerca de) 20 vezes o número de ficheiros. Contudo apresenta a enorme vantagem de ser mais facilmente acedida pela aplicação GISLIMReg.

Tabela 3.1 - Dados sobre a antiga base de dados

Modelo / Cenário		Nº Ficheiros	Tamanho
HIRHAMhh	DMI_12KM Controlo (F12)	8	8,08 MB
	DMI_12KM Cenário (S12)	8	8,12 MB
HIRHAMh	DMI_25KM Controlo (F25)	8	2,30 MB
	DMI_25KM Cenário (S25)	8	2,31 MB
HadRM3P	HC_Controlo	7	0,93 MB (961 KB)
	HC_A2	7	0,93 MB (961 KB)
	HC_B2	7	0,72 MB (733 KB)
HadRM3P	HC_Wind_Controlo	1	0,11 MB (118 KB)
	HC_Wind_A2	1	0,11 MB (118 KB)
	HC_Wind_B2	1	0,08MB (84 KB)
TOTAIS		56	23,69 MB

Tabela 3.2 - Dados sobre a nova base de dados

Modelo / Cenário		Nº Ficheiros	Tamanho em disco
HIRHAMhh	DMI_12KM Controlo (F12)	361	14,1 MB
	DMI_12KM Cenário (S12)	361	14,1 MB
HIRHAMh	DMI_25KM Controlo (F25)	102	3,98 MB
	DMI_25KM Cenário (S25)	102	3,98 MB
HadRM3P	HC Controlo	34	1,46 MB
	HC_A2 Cenário	34	1,46 MB
	HC_B2 Cenário	34	1,46 MB
HadRM3P	HC_Wind Controlo	30	0,63 MB (648 KB)
	HC_Wind_A2 Cenário	30	0,64 MB (652 KB)
	HC_Wind_B2 Cenário	30	0,59 MB (600 KB)
TOTAIS		1118	42,4 MB

Esta nova base de dados servirá de base ao trabalho desenvolvido seguidamente. Na Figura 3.8 pode-se ver a estruturação da base de dados numa representação em árvore.

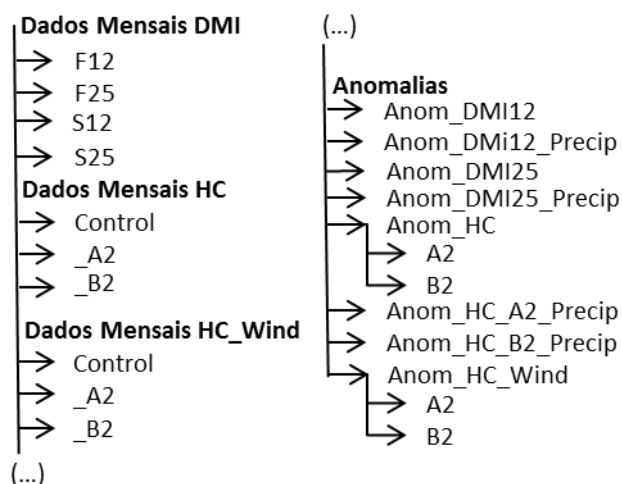


Figura 3.8 - Estrutura em árvore da base de dados.

3.1.1 Determinação das Anomalias Climáticas

Tem sido verificada a existência de desvios consideráveis entre as séries de dados produzidas pelos modelos climáticos para o período de controlo (e.g. 1961-1990) e os dados das séries observadas nas estações meteorológicas para o mesmo período. Assim, é necessário realizar a correcção dos desvios dos modelos climáticos e para isso têm sido desenvolvidas diversas técnicas para correcção dos dados. Esta correcção é realizada através da utilização de coeficientes de correcção que são aplicados às séries de dados produzidas pelos modelos climáticos. Estes coeficientes são determinados através de relações estatísticas entre as séries observadas nas estações meteorológicas e as séries de dados produzidas pelos modelos climáticos para um mesmo período [30][31][32][33].

Um dos requisitos pedidos no âmbito deste trabalho foi o do cálculo de um modo automático das anomalias das diversas variáveis meteorológicas. Neste trabalho as anomalias climáticas referem-se à diferença entre uma série de dados para um dado período (2071-2100) e o período de referência (1961-1990). Estas anomalias são utilizadas para perturbar as séries de dados observados nas estações meteorológicas de modo a produzir séries climáticas futuras corrigidas [33].

Existem vários métodos de correcção destes desvios dos quais se podem destacar o método: *Delta Change* e o *Direct Forcing*. Para o caso deste trabalho foi utilizado o método *Delta Change*.

Para a produção dos ficheiros das anomalias, iterou-se sobre os dois ficheiros ao mesmo tempo, um de cenário e outro de controlo, para criar um novo ficheiro com a diferença entre

os dois períodos (Equação 3.1). Este processo foi executado para todas as variáveis meteorológicas excepto a precipitação pois esta tem uma forma de cálculo diferente.

$$V_{Cenário} = V_{Obs} + (V_{RCM_{cenário}} - V_{RCM_{controlo}}) \quad (3.1)$$

Onde:

$V_{Cenário}$ – Variável climática diária corrigida relativa aos cenários de alteração climática;

V_{Obs} – Variável climática diária observada relativa ao período de controlo;

$V_{RCM_{cenário}}$ – Variável climática média mensal simulada pelo modelo RCM relativa aos cenários de alteração climática;

$V_{RCM_{controlo}}$ – Variável climática média mensal simulada pelo modelo RCM para o período de controlo;

Na figura seguinte (Figura 3.9) é mostrado, a título de exemplo, um extracto do ficheiro de cenário e um extracto do ficheiro de controlo para um dos modelos RCM.

(2071-2100)								(1961-1990)							
1	lat	long	NomeJoao	Nome	Ano	Mes	LWnet	1	lat	long	NomeJoao	Nome	Ano	Mes	LWnet
2	371.191	-82.243	Precip4	DMI12KM_4	2071	1	-52,9947	2	37,1191	-8,2243	Precip4	DMI12KM_4	1961	1	-69,9716
3	371.191	-82.243	Precip4	DMI12KM_4	2071	2	-81,5542	3	37,1191	-8,2243	Precip4	DMI12KM_4	1961	2	-66,9484
4	371.191	-82.243	Precip4	DMI12KM_4	2071	3	-73,5533	4	37,1191	-8,2243	Precip4	DMI12KM_4	1961	3	-70,8903
5	371.191	-82.243	Precip4	DMI12KM_4	2071	4	-79,595	5	37,1191	-8,2243	Precip4	DMI12KM_4	1961	4	-81,9459
6	371.191	-82.243	Precip4	DMI12KM_4	2071	5	-93,0269	6	37,1191	-8,2243	Precip4	DMI12KM_4	1961	5	-82,8194
7	371.191	-82.243	Precip4	DMI12KM_4	2071	6	-95,4186	7	37,1191	-8,2243	Precip4	DMI12KM_4	1961	6	-103,829
8	371.191	-82.243	Precip4	DMI12KM_4	2071	7	-91,9389	8	37,1191	-8,2243	Precip4	DMI12KM_4	1961	7	-108,194
9	371.191	-82.243	Precip4	DMI12KM_4	2071	8	-86,873	9	37,1191	-8,2243	Precip4	DMI12KM_4	1961	8	-105,1
10	371.191	-82.243	Precip4	DMI12KM_4	2071	9	-84,0602	10	37,1191	-8,2243	Precip4	DMI12KM_4	1961	9	-98,4944
11	371.191	-82.243	Precip4	DMI12KM_4	2071	10	-75,4937	11	37,1191	-8,2243	Precip4	DMI12KM_4	1961	10	-73,3043
12	371.191	-82.243	Precip4	DMI12KM_4	2071	11	-64,8555	12	37,1191	-8,2243	Precip4	DMI12KM_4	1961	11	-70,8015
13	371.191	-82.243	Precip4	DMI12KM_4	2071	12	-74,6024	13	37,1191	-8,2243	Precip4	DMI12KM_4	1961	12	-55,7186

Figura 3.9 - Extracto de um ficheiro para um ponto de a) cenário (DMI12KM_4) e b) controlo (DMI12KM_4).

A título de exemplo, usando a Equação 3.1 supracitada, e considerando os valores do mês 1 de 1961 para o controlo e de 2071 para o cenário para a variável meteorológica “LWnet” do ponto DMI12KM_4, o ficheiro das anomalias irá conter o valor 16,9769 ($-52,9947 - (-69,9716)$) para esse mês. Na Figura 3.10 é mostrado um extracto do ficheiro da anomalia para este ponto.

1	lat	long	NomeJoao	Nome	Ano	Mes	LWnet
2	37,1191	-8,2243	Precip4	DMI12KM_4	2071	1	16,9769
3	37,1191	-8,2243	Precip4	DMI12KM_4	2071	2	-14,6058
4	37,1191	-8,2243	Precip4	DMI12KM_4	2071	3	-2,663
5	37,1191	-8,2243	Precip4	DMI12KM_4	2071	4	2,3509
6	37,1191	-8,2243	Precip4	DMI12KM_4	2071	5	-10,2075
7	37,1191	-8,2243	Precip4	DMI12KM_4	2071	6	8,4104
8	37,1191	-8,2243	Precip4	DMI12KM_4	2071	7	16,2551
9	37,1191	-8,2243	Precip4	DMI12KM_4	2071	8	18,227
10	37,1191	-8,2243	Precip4	DMI12KM_4	2071	9	14,4342
11	37,1191	-8,2243	Precip4	DMI12KM_4	2071	10	-2,1894
12	37,1191	-8,2243	Precip4	DMI12KM_4	2071	11	5,946
13	37,1191	-8,2243	Precip4	DMI12KM_4	2071	12	-18,8838
14	37,1191	-8,2243	Precip4	DMI12KM_4	2072	1	-12,3687
15	37,1191	-8,2243	Precip4	DMI12KM_4	2072	2	-18,6764

Figura 3.10 - Extracto de um ficheiro para um ponto das anomalias (DMI12KM_4).

Para os ficheiros da precipitação a fórmula de cálculo das anomalias é bastante diferente como se pode ver na Equação 3.2.

O cálculo das anomalias da precipitação é efectuado na forma de um quociente uma vez que se pretende manter o número de dias com chuva num dado mês na série climática corrigida. Assim é necessário utilizar um factor multiplicativo para perturbar as séries observadas. Por outro lado é necessário agrupar os dados em médias mensais de 30 anos, ao contrário das outras variáveis que possuem séries mensais, para evitar inconsistências na produção das séries climáticas corrigidas.

$$P_{Cenário} = P_{Obs} \times \frac{P_{RCMcenário}}{P_{RCMcontrolo}} \quad (3.2)$$

Onde:

$P_{Cenário}$ – Precipitação diária corrigida relativa aos cenários de alteração climática [mm];

P_{Obs} – Precipitação diária observada relativa ao período de controlo [mm];

$P_{RCMcenário}$ – Precipitação média mensal simulada pelo modelo RCM relativa aos cenários de alteração climática [mm];

$P_{RCMcontrolo}$ – Precipitação média mensal simulada pelo modelo RCM para o período de controlo [mm];

Na Figura 3.11 é apresentado um extracto de ficheiro de cenário e de controlo para a precipitação.

1	lat	long	NomeJoao	Nome	Ano	Mes	LWnet	precip
2	371.191	-82.243	Precip4	DMI12KM_4	2071	1	-52,9947	9,7963
3	371.191	-82.243	Precip4	DMI12KM_4	2071	2	-81,5542	0,00368754
4	371.191	-82.243	Precip4	DMI12KM_4	2071	3	-73,5533	0,564448
5	371.191	-82.243	Precip4	DMI12KM_4	2071	4	-79,595	0,541051
6	371.191	-82.243	Precip4	DMI12KM_4	2071	5	-93,0269	0,0265439
7	371.191	-82.243	Precip4	DMI12KM_4	2071	6	-95,4186	0,0162601
8	371.191	-82.243	Precip4	DMI12KM_4	2071	7	-91,9389	0,047795
9	371.191	-82.243	Precip4	DMI12KM_4	2071	8	-86,873	0,0458399
10	371.191	-82.243	Precip4	DMI12KM_4	2071	9	-84,0602	0,295003
11	371.191	-82.243	Precip4	DMI12KM_4	2071	10	-75,4937	0,37605
12	371.191	-82.243	Precip4	DMI12KM_4	2071	11	-64,8555	6,07444
13	371.191	-82.243	Precip4	DMI12KM_4	2071	12	-74,6024	0,146039
14	371.191	-82.243	Precip4	DMI12KM_4	2072	1	-68,9708	0,12482
15	371.191	-82.243	Precip4	DMI12KM_4	2072	2	-73,7851	0,970173

a)

1	lat	long	NomeJoao	Nome	Ano	Mes	LWnet	precip
2	37,1191	-8,2243	Precip4	DMI12KM_4	1961	1	-69,9716	0,251897
3	37,1191	-8,2243	Precip4	DMI12KM_4	1961	2	-66,9484	2,00478
4	37,1191	-8,2243	Precip4	DMI12KM_4	1961	3	-70,8903	0,40884
5	37,1191	-8,2243	Precip4	DMI12KM_4	1961	4	-81,9459	1,22309
6	37,1191	-8,2243	Precip4	DMI12KM_4	1961	5	-82,8194	1,83865
7	37,1191	-8,2243	Precip4	DMI12KM_4	1961	6	-103,829	0,00912348
8	37,1191	-8,2243	Precip4	DMI12KM_4	1961	7	-108,194	0,307814
9	37,1191	-8,2243	Precip4	DMI12KM_4	1961	8	-105,1	0,00038147
10	37,1191	-8,2243	Precip4	DMI12KM_4	1961	9	-98,4944	0,000572205
11	37,1191	-8,2243	Precip4	DMI12KM_4	1961	10	-73,3043	2,53251
12	37,1191	-8,2243	Precip4	DMI12KM_4	1961	11	-70,8015	6,07216
13	37,1191	-8,2243	Precip4	DMI12KM_4	1961	12	-55,7186	3,22781
14	37,1191	-8,2243	Precip4	DMI12KM_4	1962	1	-56,6021	2,75011
15	37,1191	-8,2243	Precip4	DMI12KM_4	1962	2	-55,1087	2,49689

b)

Figura 3.11 - Extracto de um ficheiro para um ponto: a) de cenário da precipitação (DMI12KM_4) e b) de controlo da precipitação (DMI12KM_4).

Tem-se então para os cálculos das anomalias da precipitação para o mês de Janeiro, em função da média dos 30 anos, o seguinte exemplo:

$$\text{Cenário Janeiro} = \frac{\text{Janeiro 2071} + \text{Janeiro 2072} + \dots + \text{Janeiro 2100}}{30}$$

$$\text{Controlo Janeiro} = \frac{\text{Janeiro 1961} + \text{Janeiro 1962} + \dots + \text{Janeiro 1990}}{30}$$

$$\text{Anomalia Janeiro} = \frac{\text{Cenário Janeiro}}{\text{Controlo Janeiro}}$$

E repete-se assim para todos os meses ficando os ficheiros das anomalias para a precipitação apenas com 12 linhas, uma para cada mês.

3.2 Aplicação SIG GISClmReg para consulta dos dados meteorológicos

Foi desenvolvido no ArcGIS (ESRI) uma aplicação em VBA, o GISClmReg, com o objectivo de permitir a gestão e manipulação da informação existente na base de dados descrita na secção 3.1. Esta aplicação é composta por uma interface gráfica com o utilizador e vários módulos: análise sazonal, análise com parâmetros, módulo de interpolação e módulo de visualização em ArcGIS. Esta aplicação serve igualmente como suporte à integração do modelo de cálculo das necessidades hídricas das culturas, descrita mais à frente no Capítulo 4. A Figura 3.12 mostra um fluxograma da aplicação:

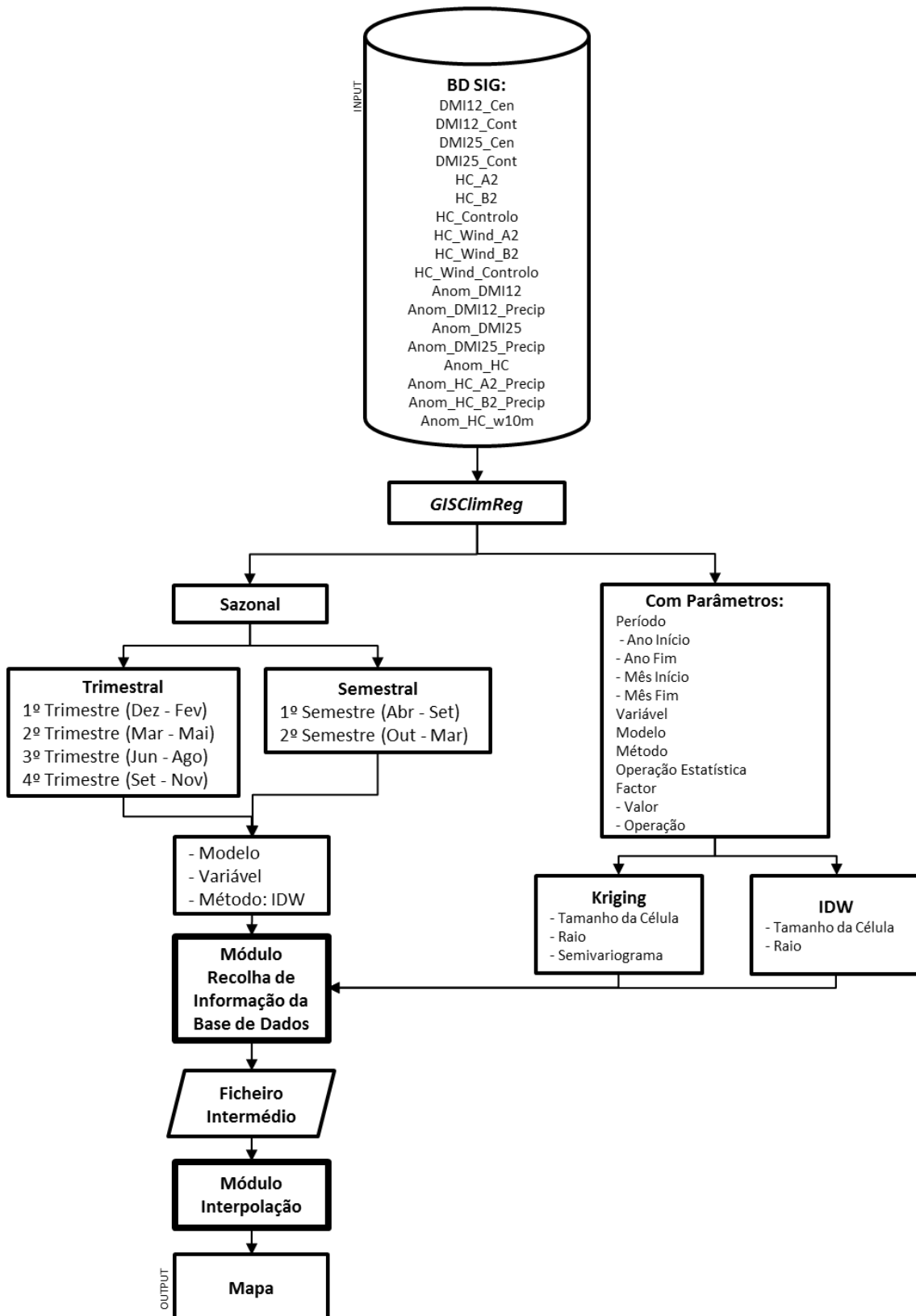


Figura 3.12 - Fluxograma da aplicação GISClímReg representativo da construção de uma superfície contínua (mapa).

Como se pode observar na Figura 3.12, a aplicação GISclimReg tem duas opções principais para a análise de dados: “Sazonal” e “Com Parâmetros”. Estas duas opções correspondem aos dois módulos principais do programa em VBA.

A aplicação é iniciada através da interface apresentada na Figura 3.13, onde o utilizador pode seleccionar a opção pretendida: sazonal ou com parâmetros. Na opção “Sazonal” realiza-se a média dos valores para um semestre ou uma estação do ano. Na opção “Com Parâmetros” recolhe-se do utilizador os dados para realizar a análise em função dos parâmetros introduzidos por este tais como o ano de início, o ano de fim, o mês de início, o mês de fim, entre outras opções.

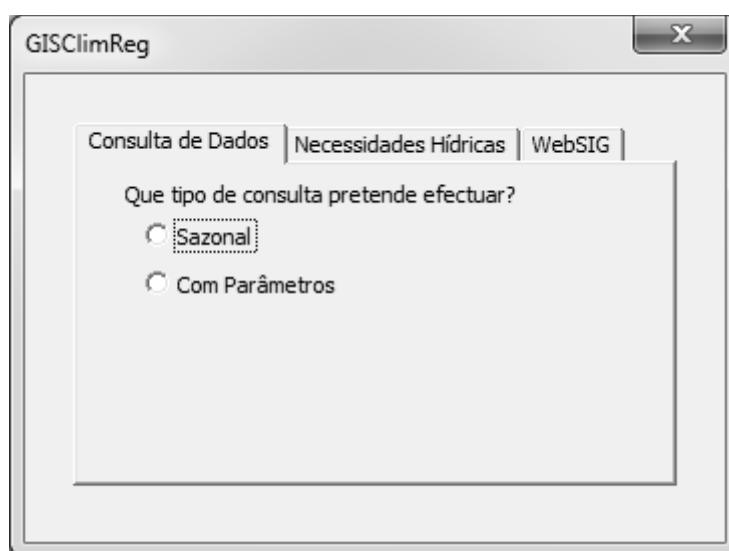


Figura 3.13 - Interface de início da aplicação GISclimReg.

Módulo Sazonal

A opção “Sazonal” funciona, para períodos previamente definidos. Ao optar por este módulo, surgirá a opção para escolher qual variável meteorológica e qual o modelo RCM sobre o qual operar tal como as seguintes novas opções:

- Trimestral (Figura 3.14b) – esta opção realizará a análise espacial de uma dada variável produzindo médias trimestrais das séries de 30 anos;
- Semestral (Figura 3.14a) – esta opção realizará a análise espacial de uma dada variável produzindo médias semestrais das séries de 30 anos;

As variáveis meteorológicas e os modelos RCM sobre os quais se pode realizar a análise estão representados na Tabela 3.3 e Tabela 3.4.

Tabela 3.3 - Variáveis climáticas incluídas na base de dados SIG

Variável	Descrição
t2m	Temperatura média mensal (K)
precip	Precipitação (mm/dia)
t2max	Temperatura máxima diária (K)
t2min	Temperatura mínima diária (K)
w10m	Velocidade do vento (m/s)
SWnet	Radiação líquida de curto comprimento de onda (W/m^2)
LWnet	Radiação líquida de longo comprimento de onda (W/m^2)
rh2m	Humidade relativa (%)
td2m	Temperatura do ponto de orvalho (K)

Tabela 3.4 - Modelos climáticos disponíveis na base de dados SIG e respectiva descrição

Modelo	Descrição
DMI12_Cen (HIRHAMhh)	Cenário do Modelo DMI de 12km
DMI12_Cont (HIRHAMhh)	Controlo do Modelo DMI de 12km
DMI25_Cen (HIRHAMhh)	Cenário do Modelo DMI de 25km
DMI25_Cont (HIRHAMhh)	Controlo do Modelo DMI de 25km
HC_A2 (HadRM3P)	Cenário do Modelo HC A2
HC_B2 (HadRM3P)	Cenário do Modelo HC B2
HC_Controlo (HadRM3P)	Controlo do Modelo HC
HC_Wind_A2 (HadRM3P)	Cenário do Modelo HC A2 para o Vento
HC_Wind_B2 (HadRM3P)	Cenário do Modelo HC B2 para o Vento
HC_Wind_Controlo (HadRM3P)	Controlo do Modelo HC para o Vento
Anom_DMI12 (HIRHAMhh)	Anomalias do modelo DMI 12km
Anom_DMI12_Precip (HIRHAMhh)	Anomalias do modelo DMI 12km para a precipitação
Anom_DMI25 (HIRHAMhh)	Anomalias do modelo DMI 25km
Anom_DMI25_Precip (HIRHAMhh)	Anomalias do modelo DMI 25km para a precipitação
Anom_HC_A2C (HadRM3P)	Anomalias do modelo HC A2
Anom_HC_B2C (HadRM3P)	Anomalias do modelo HC B2
Anom_HC_A2_Precip (HadRM3P)	Anomalias do modelo HC A2 para a precipitação
Anom_HC_B2_Precip (HadRM3P)	Anomalias do modelo HC B2 para a precipitação
Anom_HC_Wind_A2C (HadRM3P)	Anomalias do modelo HC A2 para o vento
Anom_HC_Wind_B2C (HadRM3P)	Anomalias do modelo HC B2 para o vento

A opção “Trimestral” realiza a interpolação espacial para uma dada variável meteorológica fazendo uma média estatística dos valores por trimestres para o conjunto total dos anos disponíveis. Os quatro trimestres estão divididos da seguinte maneira:

- 1º Trimestre – de Dezembro a Fevereiro;
- 2º Trimestre – de Março a Maio;

- 3º Trimestre – de Junho a Agosto;
- 4º Trimestre – de Setembro a Novembro;

À semelhança da opção “Trimestral”, a opção “Semestral” também realiza uma interpolação espacial para uma dada variável meteorológica fazendo uma média estatística por semestre para o conjunto total dos anos disponíveis. Os semestres estão divididos da seguinte maneira:

- 1º Semestre – de Abril a Setembro;
- 2º Semestre – de Outubro a Março;

A Figura 3.14 demonstra o ambiente pelo qual o utilizador pode navegar.

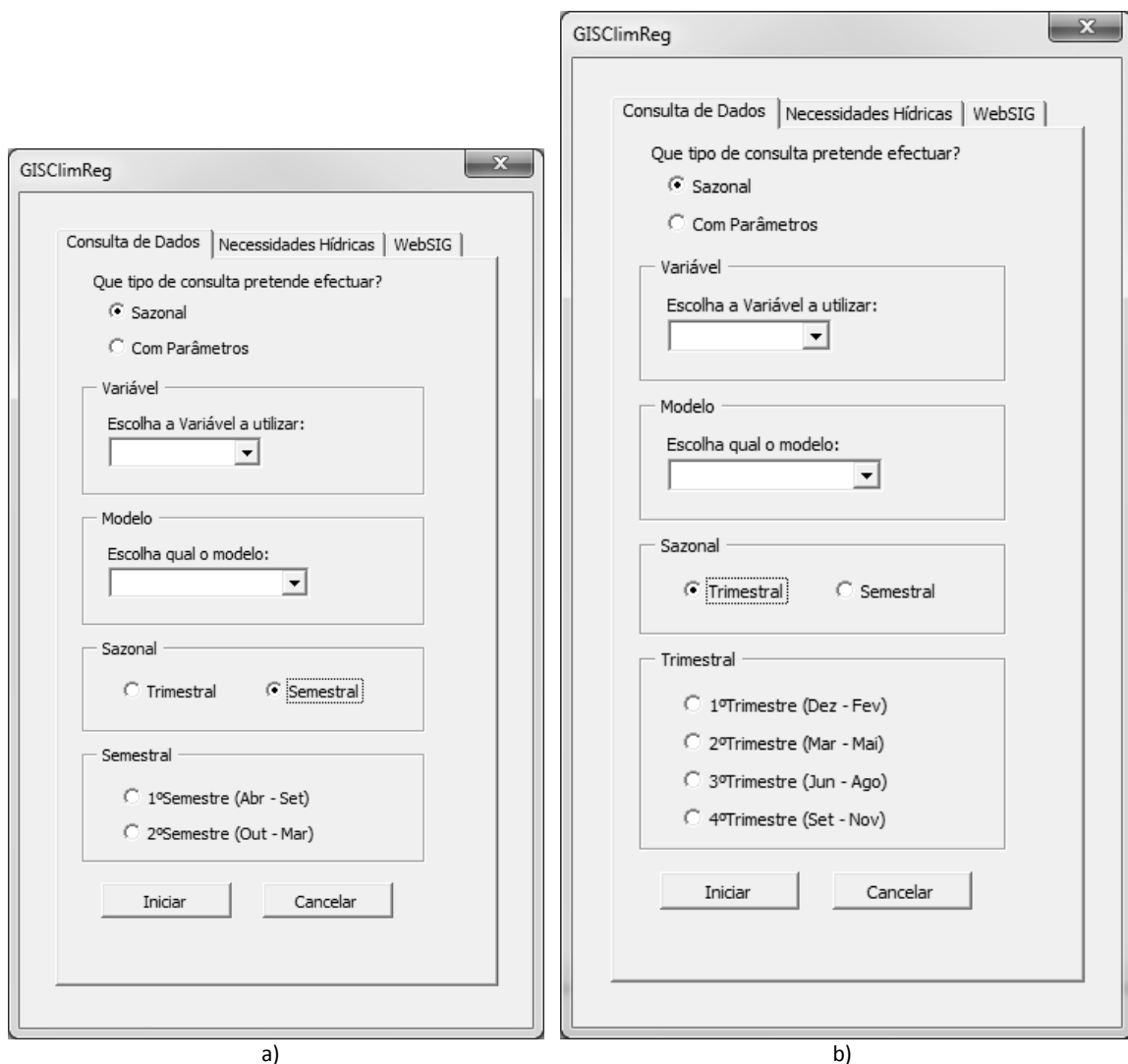


Figura 3.14 - Interface do GISClmReg para o módulo a) Sazonal Semestral e b) Sazonal Trimestral.

Tanto o módulo “Trimestral” como o “Semestral” usam como método de interpolação espacial, por predefinição, o inverso do quadrado da distância (IDW – *Inverse Distance Weight*).

Por exemplo, se o utilizador pretendesse ver o mapa para a precipitação média para os meses de inverno do conjunto total de anos bastava usar esta interface seguindo os passos Sazonal -> Precipitação -> Anom_DMI12KM_Precip -> Trimestral -> 1º Trimestre não sendo assim necessário estar a preencher todos os campos da opção “Com Parâmetros” (ver Anexo I).

Durante o desenvolvimento do módulo de recolha de informação da base de dados surgiu um problema que foi o de fazer a análise dos dados quando se passa de um ano para o outro, como acontece no 1º Trimestre quando se passa de Dezembro para Janeiro. Por exemplo, se se quisesse analisar um trimestre que incluía anos diferentes de início e de fim (e.g. Dezembro, Janeiro e Fevereiro) a aplicação dava um erro porque para elaborar a análise o programa analisava se o mês de início era inferior ao mês de fim, ou seja, sendo Dezembro (12) o mês de início e Fevereiro (2) o mês de fim, então $12 \nless 3$.

Inicialmente, para procurar os valores usava-se o seguinte pseudo-código:

```
SE
    valorDoMes >= mesInicio E valorDoMes <= mesFim E
    valorDoAno >= anoInicio E valorDoAno <= anoFim
```

o qual falhava quando se dava como parâmetros de entrada, por exemplo, mesInicio = 12 e mesFim = 3. Para ultrapassar o problema usou-se o seguinte pseudo-código:

```
SE
    valorDoMes >= mesInicio E valorDoMes <= 12 E valorDoAno
    = anoInicio E não se estiver no fim do ficheiro
OU
    valorDoMes >= MesInicio E valorDoMes <= 12 E valorDoAno
    > anoInicio E valorDoAno <= anoFim E não se estiver no
    fim do ficheiro
OU
    valorDoMes >= 1 E valorDoMes <= mesFim E valorDoMes >=
    anoInicio+1 E valorDoAno <= anoFim E não se estiver no
    fim do ficheiro
```

Onde: mesInicio, mesFim, anoInicio, anoFim são os valores introduzidos como parâmetros pelo utilizador e valorDoMes, valorDoAno são os valores para o mês e ano da linha em análise.

Módulo Com Parâmetros

Quando o utilizador opta pelo módulo “Com Parâmetros” (Figura 3.13) obtém a interface apresentada na Figura 3.15. Este módulo permite ao utilizador realizar uma consulta mais específica. Na interface representada na Figura 3.15 o utilizador terá que escolher todos os parâmetros para a aplicação poder proceder à interpolação espacial e criar uma superfície contínua.

Figura 3.15 - Módulo "Por Parâmetros".

Como se pode ver na Figura 3.15, a interface está dividida em três zonas: Parâmetros, Operação Estatística e Factor.

A zona dos Parâmetros de entrada divide-se em quatro zonas:

- Período de análise – esta zona está dividida em quatro parâmetros:
 - Ano de início – qual o ano de início da análise para executar a interpolação (campo de preenchimento obrigatório);

- Ano de fim – qual o ano de fim da análise (campo de preenchimento obrigatório);
- Mês de início – qual o mês em que se pretende começar a análise (campo de preenchimento obrigatório);
- Mês de fim – qual o mês em que se pretende terminar a análise (campo de preenchimento obrigatório);
- Variável meteorológica – qual a variável sobre a qual a aplicação deve proceder à interpolação espacial (parâmetro de preenchimento obrigatório);
- Modelo RCM – qual o modelo climático regional (RCM) a ser utilizado pela aplicação na interpolação onde constam os modelos DMI12, o DMI25, o HC e as anomalias para os mesmos modelos (campo de preenchimento obrigatório);
- Método de interpolação espacial – qual o método de interpolação. As opções disponíveis são o *IDW* e o *Kriging* (campo de preenchimento obrigatório);

Na zona da Operação estatística, o parâmetro a recolher será a operação estatística que será usada para realizar a agregação dos dados. Estão disponíveis as seguintes operações: média, mínimo, máximo e desvio-padrão.

Na zona do Factor, existem dois parâmetros: Factor e Operação. Factor é o parâmetro para o utilizador especificar qual o factor que pretende usar (valor por defeito é 0). O parâmetro Operação serve para o utilizador especificar se pretende multiplicar, somar, subtrair ou dividir o factor aos valores da variável meteorológica considerada (de preenchimento obrigatório se o parâmetro Factor for preenchido).

Módulo Interpolação Espacial

Quando se clica em “Iniciar” no interface apresentado na Figura 3.15, conforme o método de interpolação escolhido, aparece um novo interface. Este novo interface pretende recolher os vários parâmetros a utilizar na interpolação espacial da variável seleccionada.

Se for escolhido o método IDW, os parâmetros pedidos são a dimensão da célula e o raio de vizinhança como se pode observar na Figura 3.16. O tamanho da célula é em graus decimais e tem como valor predefinido 0,005° que corresponde aproximadamente a 556,6 metros. O raio de vizinhança tem um valor por defeito de 12.

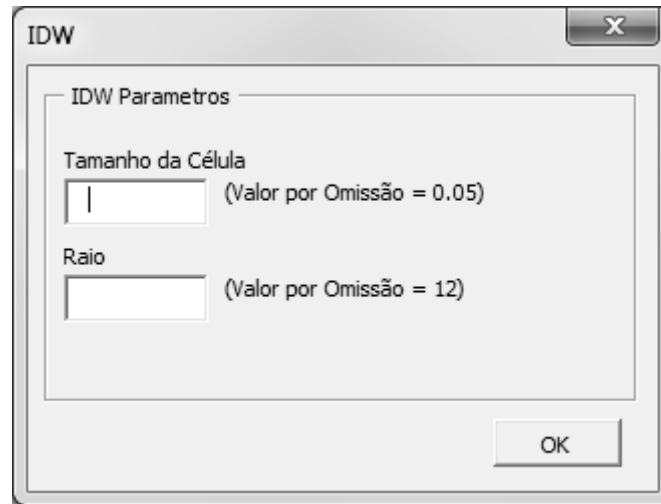


Figura 3.16 - Interface para inserção dos parâmetros para executar a interpolação espacial utilizando o método IDW.

Se for escolhido o método *Kriging* (Figura 3.17), é pedido a dimensão da célula, o raio de vizinhança e o tipo de semi-variograma. A dimensão da célula e o raio de vizinhança funcionam com os mesmos valores por defeito considerados para o método IDW. A implementação deste método usando a função *krige* do ArcGIS (ESRI), tal como foi feito neste trabalho, usa valores calculados internamente para o semi-variograma sendo apenas necessário escolher que tipo de semi-variograma se deseja utilizar [34]. O tipo de semi-variograma pode ser escolhido de entre 7 possibilidades: circular, exponencial, gaussiano, linear, esférico, universal ou nenhum. Segundo Makram Anane *et al.* [35] e Tudorovic *et al.* [21], os semi-variogramas mais utilizados com variáveis climáticas são os constituintes do *kriging* ordinário (esférico, circular, exponencial, gaussiano ou linear).

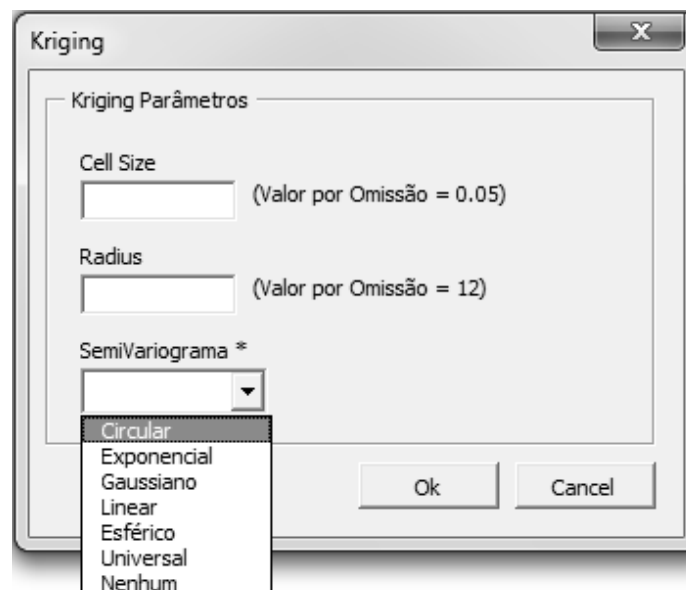


Figura 3.17 - Formulário dos parâmetros para executar a interpolação espacial utilizando o método *Kriging*.

Após este processo de recolha dos parâmetros, tanto no modo “Sazonal” como no modo “Com Parâmetros”, o programa recorre aos ficheiros da base de dados do modelo RCM e da variável escolhidos e calcula, segundo a operação estatística escolhida pelo utilizador (sendo que no caso do modo “Sazonal” a operação estatística definida por defeito é a média), os novos valores e cria um novo ficheiro “intermédio” (ver Figura 3.12). Exemplo: o utilizador pretende calcular qual a média de precipitação para o modelo de controlo DMI de 12km durante os meses de Janeiro, Fevereiro e Março para os anos de 1961 a 1965. Para isso preenche o interface apresentado na Figura 3.15 com os parâmetros correctos e o ficheiro final teria o aspecto apresentado de seguida na Figura 3.18:

1	x	y	ponto	media_precip
2	37,4204	-7,49798	DMI12KM_10	0,865861133
3	38,1089	-7,01649	DMI12KM_100	1,351132067
4	38,158	-6,89309	DMI12KM_101	1,348039867
5	38,2069	-6,7695	DMI12KM_102	1,4902032
6	38,2556	-6,64572	DMI12KM_103	1,195673267
7	38,3042	-6,52177	DMI12KM_104	0,894100467
8	38,3527	-6,39763	DMI12KM_105	1,1262366
9	37,5027	-8,79025	DMI12KM_107	1,732439267
10	37,554	-8,66927	DMI12KM_108	1,556772467
11	37,6051	-8,54811	DMI12KM_109	1,233760867
12	37,47	-7,3763	DMI12KM_11	0,7940196
13	37,6561	-8,42676	DMI12KM_110	1,682629667
14	37,707	-8,30523	DMI12KM_111	0,795231893
15	37,7577	-8,18351	DMI12KM_112	1,1344564
16	37,8082	-8,06161	DMI12KM_113	0,943545267
17	37,8586	-7,93953	DMI12KM_114	0,840815933
18	37,9089	-7,81726	DMI12KM_115	0,993645267
19	37,9589	-7,6948	DMI12KM_116	0,951501933
20	38,0089	-7,57216	DMI12KM_117	0,9667542

Figura 3.18 - Exemplo de um ficheiro “intermédio” criado para a interpolação espacial do modelo DMI com a grelha de 12km para a variável de precipitação.

Como se pode observar na Figura 3.18, cada linha do novo ficheiro fica com os seguintes campos:

- Coordenada X que corresponde à latitude;
- Coordenada Y que corresponde à longitude;
- O nome do ponto;
- Média de precipitação para os 5 anos escolhidos para o exemplo;

Como já foi referido anteriormente, o método predefinido para realizar a interpolação espacial no módulo sazonal é o IDW. Vários estudos foram elaborados comparando o desempenho de vários métodos de interpolação na espacialização de diversas variáveis climáticas [36][37][38][39]. De particular relevância para este trabalho, no estudo elaborado por Rolim *et al.* [39] comparam-se os métodos IDW, vizinho mais próximo (NN – *nearest neighbor*) e *least square collocation* (LSC). Este estudo foi realizado para a região do Alentejo, tendo sido utilizados os dados meteorológicas da rede SAGRA.

Os resultados obtidos mostram que em média, as diferenças entre os três métodos foram muito reduzidas com os métodos LSC e IDW a apresentarem uma ligeira melhoria na precisão dos dados meteorológicos sobre o método NN para todas as análises consideradas. O método IDW gera resultados muito próximos ao método LSC e é um método facilmente computável que não necessita de calibração para ser usado. Por isso, o método IDW aparenta ser um método interessante para a interpolação de dados agrometeorológicos e fornecer dados para os modelos de rega. Estes resultados estão de acordo com diversos autores que referem que o método IDW tem um desempenho muito próximo de métodos geoestatísticos (e.g. *Kriging*) para a maioria das situações [37][38][40][41].

Implementação no ArcGIS

Após a criação deste novo ficheiro “intermédio” (Figura 3.18), este é adicionado ao *Table Of Contents* (TOC) do ArcGIS. Cada mapa tem uma tabela de conteúdos. Esta tabela contém entradas para os dados utilizados no mapa. A tabela de conteúdos é usada principalmente para mostrar ou ocultar *layers*, aceder às propriedades dos *layers*, e rearranjar *layers* de modo a alterar a sua ordem de desenho. Para se adicionar este ficheiro ao TOC, primeiro tem que ser importado como ficheiro de texto (especificando que se trata de uma tabela) e só depois pode ser adicionado à tabela de conteúdos.

Com a adição do ficheiro ao TOC, pode-se assim criar um *layer* temporário de eventos pontuais. Este *layer* é construído a partir das coordenadas X e Y de uma tabela fonte.

Usando as seguintes instruções em VBA na função *AddXYEventLayer* do GISCLimReg definiram-se os campos da latitude e da longitude dos pontos contidos no ficheiro intermédio:

```
Dim pXYEvent2FieldsProperties As IXYEvent2FieldsProperties
Set pXYEvent2FieldsProperties = New XYEvent2FieldsProperties
With pXYEvent2FieldsProperties
    .XFieldName = "y"
    .YFieldName = "x"
```

```
.ZFieldName = ""
End With
```

Consequentemente tem que ser atribuído também um sistema de coordenadas usando o seguinte comando VBA na função *AddXYEventLayer* do GISClmReg:

```
pSpatialReferenceFactory.CreateGeographicCoordinateSystem(esriSRGeoCS_WGS1984)
```

Nesta atribuição é usado o sistema de coordenadas geográficas *World Geodetic System 1984* (WGS84) que já vem predefinido no ArcGIS. O WGS84 é definido pelos parâmetros apresentados na Tabela 3.5:

Tabela 3.5 - Parâmetros do Sistema de Coordenadas Geográficas WGS84 [42]

	Semieixo Maior (a)	Semieixo Menor (b)	Inverso Achatamento (1/f)
WGS84	6378137.0m	6356752.314m	298.2572236

Por fim, este *layer* é transformado numa *shapefile*, como se pode observar na Figura 3.19, para se poder finalmente processar a interpolação espacial usando o método escolhido.

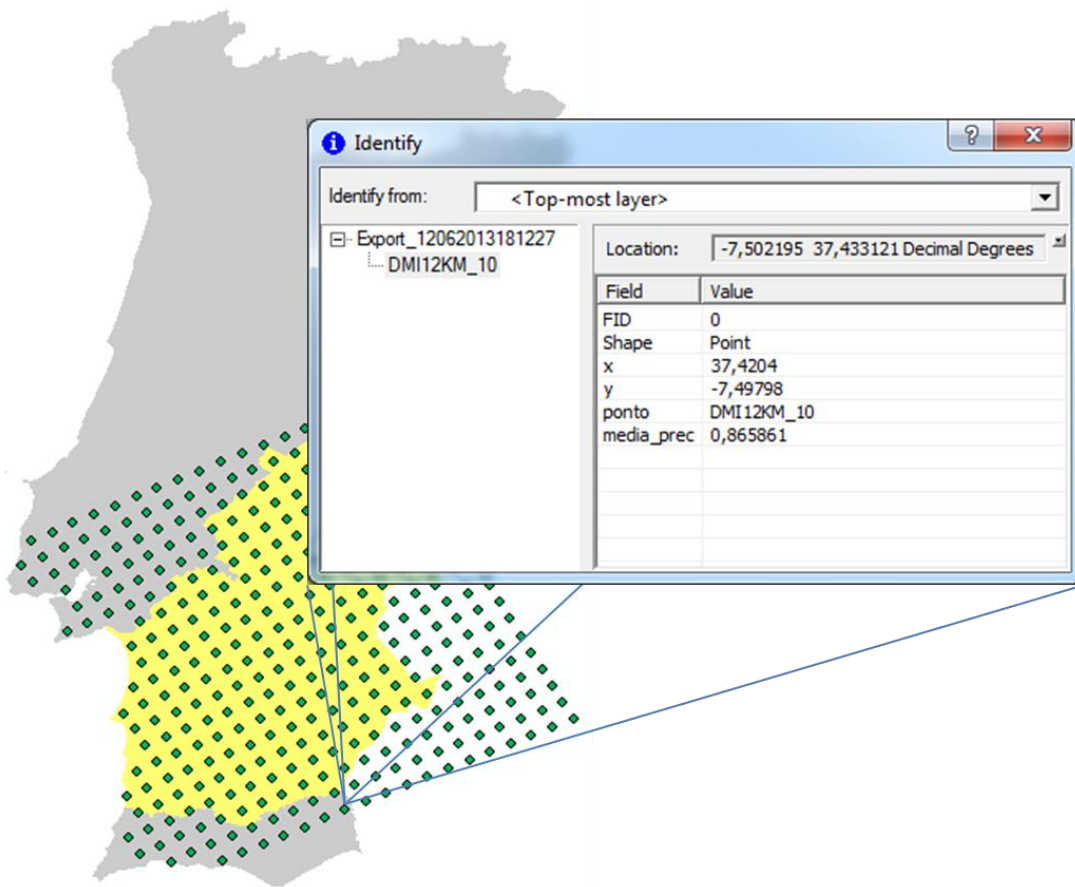


Figura 3.19 - *Shapefile* relativa aos pontos do ficheiro intermédio com um exemplo relativo à informação de um dos pontos.

Após a adição da *shapefile* ao TOC, é então executada a interpolação usando o método de interpolação escolhido. Para executar a interpolação são usadas as funções do ArcGIS *idw* e *krige* que correspondem aos métodos IDW e *Kriging*, respectivamente.

Como resultado da interpolação obtém-se uma superfície contínua, ou mais precisamente um *layer raster*. O resultado desta operação pode ser observado na Figura 3.20.



Figura 3.20 - Exemplo do output produzido através da interpolação espacial usando o IDW.

Para recortar a superfície obtida pela interpolação de modo a se obter um mapa para a região do Alentejo usa-se a operação de *clipping*, que corresponde a uma espécie de máscara que é usada para delimitar a superfície pelos limites da região do Alentejo. A máscara utilizada foi obtida tendo por base a Carta Administrativa Oficial de Portugal (CAOP) versão 2012.1 [43]. A superfície final com a forma do Alentejo pode ser observada na Figura 3.21.

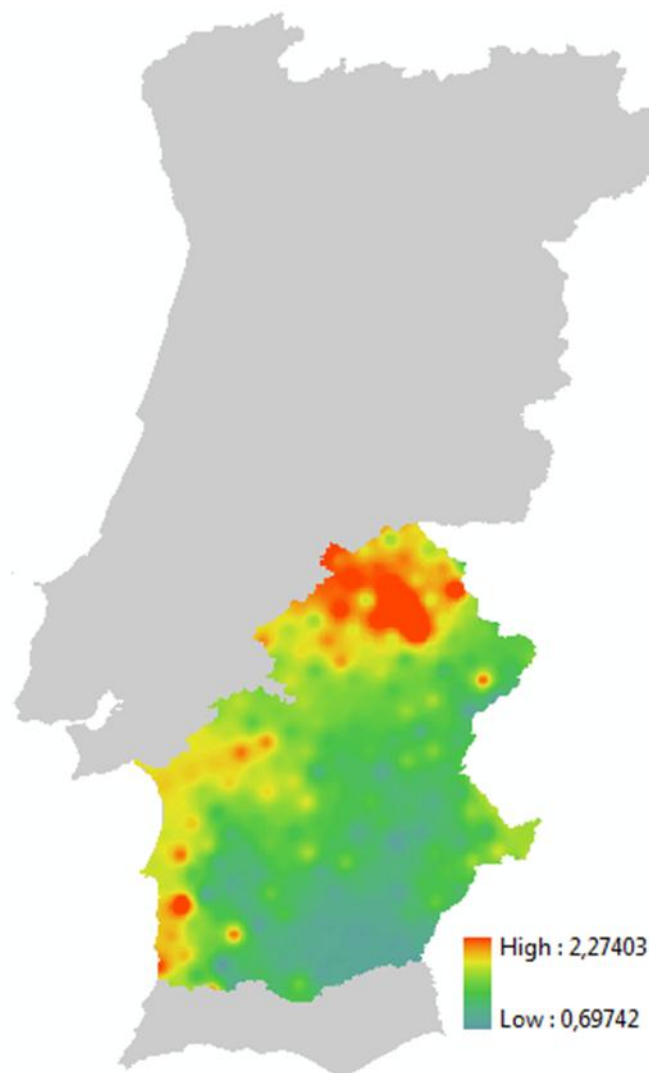


Figura 3.21 - Resultado final da interpolação espacial após a aplicação de uma *mask* em forma do Alentejo.

Após estas operações, a paleta de cor por defeito é uma paleta que tem o preto para representar valores mais baixos e o branco para os mais altos sendo os valores intermédios representados por tonalidades de cinzento. Com este esquema de cores não era, por vezes, perceptível onde seriam as zonas com os valores mais altos ou mais baixos. Para uma melhor percepção dos resultados finais na superfície contínua o esquema de cores da mesma foi alterado. Optou-se assim por usar um esquema de cores que varia desde o *Cadet Blue* até ao *Orange Red*. Uma composição de 255 cores que começa em tons de azul para valores mais baixos e termina em tons de um vermelho alaranjado para os valores mais altos.

No final a superfície contínua gerada (Figura 3.21) é exportada para o formato compacto de *Keyhole Markup Language* (KML) para depois poder ser representada, se assim for desejado, na página *web* construída no âmbito deste projecto. No Capítulo 5 será descrito de forma

pormenorizada a construção desta página *web* e a forma como os mapas produzidos pela aplicação GISClmReg são importados e disponibilizados através desta página.

3.3 Grelha 10km

Após a estruturação da base de dados SIG que serve de base para o funcionamento da aplicação GISClmReg, verificou-se a necessidade de criar uma nova grelha de pontos com uma resolução espacial de 10km para servir de plataforma à integração do modelo de cálculo das necessidades hídricas das culturas para a região do Alentejo e para armazenar a informação produzida por este.

No ArcGIS foi então criado uma grelha de pontos distanciados de 10km. Para criar esta grelha foi necessário recorrer à *shapefile* que delimita a região do Alentejo que foi usada na secção anterior (secção 3.2) como máscara. Após a adição deste ficheiro no ArcGIS, verificou-se quais eram as coordenadas do ponto mais a norte (TOP), do ponto mais a sul (BOTTOM), do ponto mais a este (RIGHT) e do ponto mais a oeste (LEFT).

Os valores destes quatro pontos foram adicionados a um ficheiro de texto. Este ficheiro foi adicionado ao ArcGIS através da função *Add XY Data* (menu *Tools* -> *Add XY Data...*). Após se ter o ficheiro presente na TOC, executou-se uma interpolação usando o IDW (*ArcToolbox* -> *Spatial Analyst Tools* -> *Interpolation* -> *IDW*) e deu-se como tamanho da célula (*cell size*) os desejados 10km.

Tendo uma área geográfica delimitada como anteriormente se descreveu e com células espaçadas de 10km, o que se fez em seguida foi usar uma ferramenta de conversão de *raster* para ponto (*ArcToolbox* -> *Conversion Tools* -> *From Raster* -> *Raster to Point*) para ficarmos com uma grelha de pontos tal como era pretendido.

Usando uma *shapefile* com formato do Alentejo, os pontos foram limitados apenas aos necessários ficando no final com 353 pontos (Figura 3.22). Esta operação foi feita usando uma selecção espacial (menu *Selection* -> *Select By Location...*).

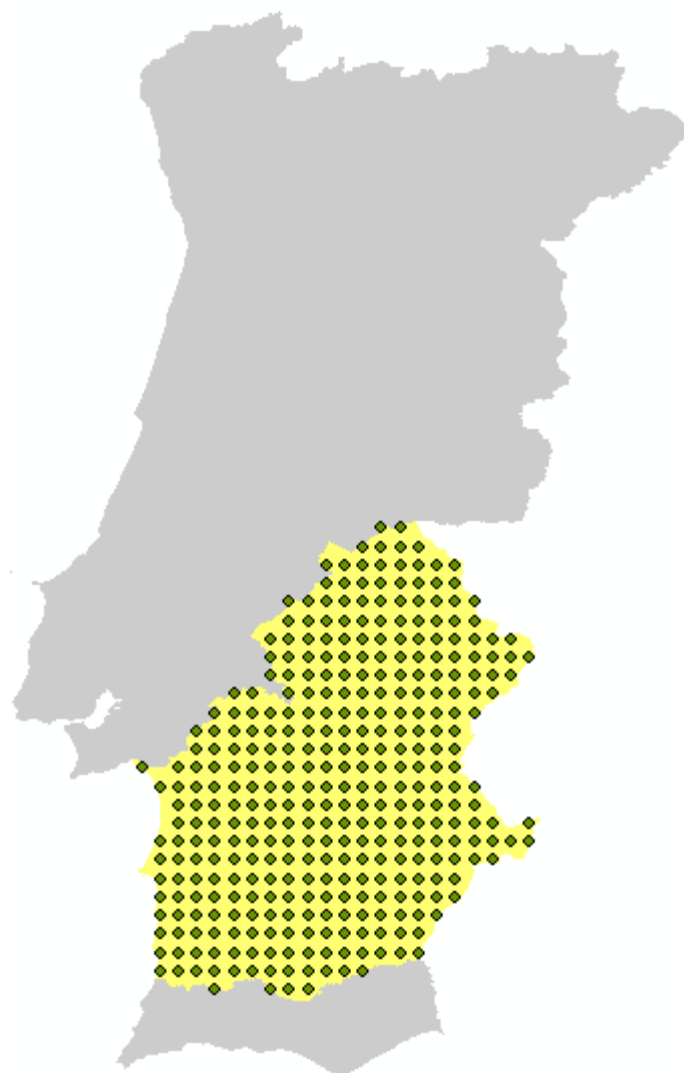


Figura 3.22 - Grelha de pontos com resolução espacial de 10km com formato do Alentejo.

Após a criação da grelha no ArcGIS, exportou-se a tabela de atributos para um ficheiro de texto e com recurso ao Microsoft Excel adicionou-se mais uma coluna para atribuir um nome a cada um dos novos pontos. A estrutura do ficheiro é apresentada na Figura 3.23.

1	nome	novo_nome	longitude	latitude
2	94	Ponto_001	-7,70213	39,6318
3	95	Ponto_002	-7,61223	39,6318
4	130	Ponto_003	-7,79203	39,5419
5	131	Ponto_004	-7,70213	39,5419
6	132	Ponto_005	-7,61223	39,5419
7	133	Ponto_006	-7,52233	39,5419
8	165	Ponto_007	-7,97183	39,452
9	166	Ponto_008	-7,88193	39,452
10	167	Ponto_009	-7,79203	39,452
11	168	Ponto_010	-7,70213	39,452
12	169	Ponto_011	-7,61223	39,452
13	170	Ponto_012	-7,52233	39,452
14	171	Ponto_013	-7,43243	39,452
15	172	Ponto_014	-7,34253	39,452

Figura 3.23 - Exemplo do ficheiro com os dados dos pontos da grelha de 10km.

Após a criação da grelha de 10km, interpolaram-se os ficheiros das anomalias um a um usando o *software* Interpolador [44]. Este *software* foi desenvolvido em *Visual Basic* (VB) e para funcionar necessita dos seguintes ficheiros de texto:

- Um ficheiro com o nome Estacoes, que contém todos os pontos dos quais se conhece os valores e que vão servir de base para a interpolação. Este ficheiro contém o nome do ponto, a sua latitude e longitude.
- Um ficheiro com o nome Ponto, que contém uma listagem que permite seleccionar os pontos que serão interpolados. Este ficheiro tem os seguintes dados:
 - Nome – nome do ponto;
 - Longitude – longitude do ponto;
 - Latitude – latitude do ponto;
 - NumDados – é o número de pontos que vão ser interpolados;
 - Metodo – qual o método de interpolação que será utilizado:
 - 1 – Vizinho mais próximo;
 - 2 – IDW;
 - 3 – Co-variância;
- Um ficheiro com o nome VariavelClima que contém os dados dos pontos presentes no ficheiro Estacoes e que vão servir de base para interpolar para os novos pontos.

Após a construção destes ficheiros de *input*, utiliza-se o *software* Interpolador para interpolar todas as variáveis das anomalias climáticas (Figura 3.24). Um por um, todos os ficheiros das anomalias passam pelo interpolador para gerar os valores para a nova grelha. O Interpolador

produziu um ficheiro (*Interpolation_Output*) por cada variável e para cada modelo listados na Figura 3.24.

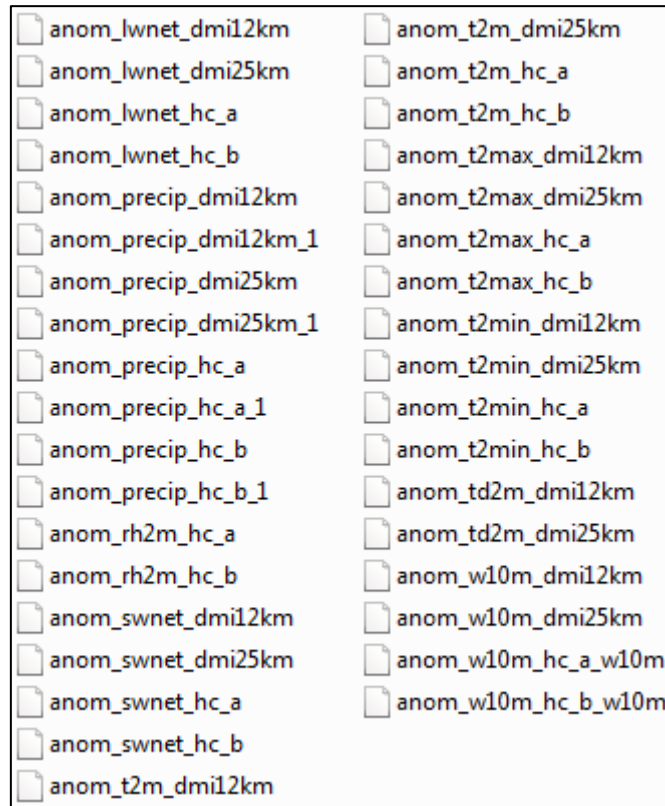


Figura 3.24 - Ficheiros das anomalias que foram usados no Interpolador.

Após ter os dados interpolados para a nova grelha, decidiu-se seguir a mesma metodologia da base de dados da aplicação GISClmReg (ver secção 3.1) e em vez de ter um ficheiro por variável e modelo, criou-se um ficheiro por ponto contendo todas as variáveis (anomalias) consideradas para esse ponto. Os novos ficheiros ficaram assim com as seguintes colunas:

- Longitude
- Latitude
- Nome
- Ano
- Mês
- LWnet_dmi12
- LWnet_dmi25
- LWnet_hc_a
- LWnet_hc_b
- Rh2m_hc_a
- Rh2m_hc_b
- SWnet_dmi12
- SWnet_dmi25
- SWnet_hc_a
- SWnet_hc_b
- T2max_dmi12
- T2max_dmi25
- T2max_hc_a
- T2max_hc_b
- T2min_dmi12
- T2min_dmi25
- T2min_hc_a
- T2min_hc_b
- T2m_dmi12
- T2m_dmi25
- T2m_hc_a
- T2m_hc_b
- Td2m_dmi12
- Td2m_dmi25
- W10m_dmi12
- W10m_dmi25
- W10m_hc_a
- W10m_hc_b

Nas linhas destes ficheiros ficou a informação, para cada ponto, relativa à série mensal para o período de 2070-2100 (372 entradas). Como nem todos os modelos tinham valores para o ano de 2070, foi atribuído o valor “null” quando esta condição foi verificada. A Figura 3.25 mostra, a título de exemplo, parte do conteúdo de um desses novos ficheiros.

1	longitude	latitude	nome	ano	mes	lwnet_dmi12	lwnet_dmi25	lwnet_hc_a	lwnet_hc_b	rh2m_hc_a	rh2m_hc_b	swnet_dmi12
2	-7,70213	39,6318	Ponto_001	2070	1	null	null	11,62037	-10,56881	2,61065	-10,85943	null
3	-7,70213	39,6318	Ponto_001	2070	2	null	null	8,83268	-5,27986	-2,20645	-9,55547	null
4	-7,70213	39,6318	Ponto_001	2070	3	null	null	4,31923	-30,5029	-1,13209	-24,29542	null
5	-7,70213	39,6318	Ponto_001	2070	4	null	null	-1,65742	-6,14778	-2,87352	-10,86932	null
6	-7,70213	39,6318	Ponto_001	2070	5	null	null	-11,5564	18,45272	-16,29284	4,89646	null
7	-7,70213	39,6318	Ponto_001	2070	6	null	null	0,99589	-10,94565	-7,64229	-9,42968	null
8	-7,70213	39,6318	Ponto_001	2070	7	null	null	3,93274	-10,71925	-0,03141	-8,27221	null
9	-7,70213	39,6318	Ponto_001	2070	8	null	null	-2,12993	-12,51262	-4,70814	-11,31172	null
10	-7,70213	39,6318	Ponto_001	2070	9	null	null	-1,60805	-11,88489	-2,80107	-11,17172	null
11	-7,70213	39,6318	Ponto_001	2070	10	null	null	-10,34561	-16,31542	-9,69291	-11,88373	null
12	-7,70213	39,6318	Ponto_001	2070	11	null	null	6,82744	-8,10963	1,7763	-9,37791	null
13	-7,70213	39,6318	Ponto_001	2070	12	null	null	6,3001	24,9555	-0,38954	5,24174	null
14	-7,70213	39,6318	Ponto_001	2071	1	11,77392	12,80593	1,60031	16,35495	0,39685	3,32998	-13,82312
15	-7,70213	39,6318	Ponto_001	2071	2	-8,91974	-8,25081	-1,91871	-1,96479	-1,83787	-0,15451	11,8175

Figura 3.25 - Exemplo de um ficheiro final para um ponto da grelha de 10km.

Os ficheiros das anomalias precipitação foram criados à parte destes, pois como já foi referido anteriormente (secção 3.1.1), os ficheiros das anomalias referentes à precipitação contêm uma estrutura diferente tendo apenas 12 registos relativos à média de 30 anos para cada mês. Os ficheiros ficaram então organizados com a informação relativa a cada ponto, referente aos meses de Janeiro a Dezembro nas linhas (Figura 3.26) e com as seguintes colunas:

- Latitude;
- Longitude;
- Nome;
- Mês;
- precip_dmi12 – precipitação para o modelo DMI12;
- precip_dmi25 – precipitação para o modelo DMI25;
- precip_hc_a – precipitação para o modelo HCA2;
- precip_hc_b – precipitação para o modelo HCB2;

1	latitude	longitude	nome	mes	precip_dmi12	precip_dmi25	precip_hc_a	precip_hc_b
2	-7,70213	39,6318	Ponto_001	1	1,12376	1,14003	0,98808	0,81529
3	-7,70213	39,6318	Ponto_001	2	0,67041	0,68513	1,0103	0,95577
4	-7,70213	39,6318	Ponto_001	3	0,60721	0,58261	0,69227	0,66857
5	-7,70213	39,6318	Ponto_001	4	0,68852	0,66046	0,4858	0,63787
6	-7,70213	39,6318	Ponto_001	5	0,34245	0,35404	0,56683	0,83141
7	-7,70213	39,6318	Ponto_001	6	0,50447	0,62332	0,47854	0,63819
8	-7,70213	39,6318	Ponto_001	7	0,52893	0,57246	0,19618	0,30361
9	-7,70213	39,6318	Ponto_001	8	0,43068	0,38958	0,24337	0,54889
10	-7,70213	39,6318	Ponto_001	9	0,62613	0,55892	0,5244	0,43022
11	-7,70213	39,6318	Ponto_001	10	0,67798	0,69849	0,60214	0,86314
12	-7,70213	39,6318	Ponto_001	11	0,87746	0,96668	0,74722	0,79332
13	-7,70213	39,6318	Ponto_001	12	0,97551	0,93843	0,78248	1,12922

Figura 3.26 - Exemplo de um ficheiro final referente à precipitação de um ponto da grelha de 10km.

3.3.1 Séries Meteorológicas Perturbadas

Para se realizar o cálculo das necessidades hídricas das culturas com um modelo simplificado (Capítulo 4) usam-se as séries climáticas perturbadas que consistem na perturbação dos dados observados pelo Sistema Agrometeorológico para a Gestão da Rega no Alentejo (SAGRA) operada pelo Centro Operativo e de Tecnologia de Regadio (COTR) com os valores das anomalias calculadas anteriormente na secção 3.1.1. Os dados da rede SAGRA dizem respeito ao período de 2003 a 2007. Apesar de este período ser relativamente curto (apenas 5 anos) e não dizer respeito ao período de controlo (1961-1990) optou-se por considerar estes dados pois possuem uma boa cobertura espacial da região do Alentejo com 14 estações meteorológicas, o que permite realizar uma análise espacial dos resultados das necessidades hídricas das culturas.

Anomalias

Partindo dos ficheiros finais criados na secção 3.1.1 para a grelha de 10km, que continham as anomalias de todas as variáveis por modelo climático, extraíram-se apenas as variáveis da temperatura máxima e temperatura mínima para os modelos DMI de 12km, DMI de 25km, HCA2 e HCB2.

Como foi visto na secção 3.1.1, as anomalias referentes à precipitação apenas têm 12 valores referente a uma média mensal ao contrário das outras variáveis das quais se tem os valores mensais para o período de 2070-2100. Então, e para ter concordância nos dados, para cada um dos pontos da grelha de 10km foram criados novos ficheiros (e.g. Figura 3.27) que continham a

média mensal (30 anos) para temperatura máxima e temperatura mínima de cada um dos modelos. Optou-se por esta simplificação de só considerar a média de 30 anos pois apenas se dispunha de 5 anos de dados observados, o que não permitia aplicar a série de 30 anos das anomalias sobre os dados observados.

1	long	lat	nome	mes	t2max_dmi12	t2max_dmi25	t2max_hc_a	t2max_hc_b	t2min_dmi12	t2min_dmi25	t2min_hc_a	t2min_hc_b	
2	-7,70213	39,6318	Ponto_001	1961	1	2,5830507	2,598144	3,1590915	2,0884402	2,700265	2,6646287	3,41548	2,2745016
3	-7,70213	39,6318	Ponto_001	1961	2	3,018216	2,9496782	2,848397	2,0996728	2,450025	2,4677007	2,8671312	2,3325381
4	-7,70213	39,6318	Ponto_001	1961	3	3,0086305	2,831837	2,9711044	2,1800995	2,3293715	2,2657104	2,4472704	1,8886528
5	-7,70213	39,6318	Ponto_001	1961	4	3,3016953	3,2633426	4,0111394	3,826537	2,782537	2,7313433	2,7502656	2,2830532
6	-7,70213	39,6318	Ponto_001	1961	5	6,45629	6,2388663	5,6935673	4,2946258	4,726867	4,668498	4,182102	3,2895591
7	-7,70213	39,6318	Ponto_001	1961	6	6,510211	6,477011	5,8566217	3,224066	5,4370036	5,4397216	4,543178	2,5752673
8	-7,70213	39,6318	Ponto_001	1961	7	5,38157	5,5330653	4,817956	3,6330996	4,4997993	4,6080074	3,686249	2,7026265
9	-7,70213	39,6318	Ponto_001	1961	8	4,963658	5,226645	4,8054953	3,4866254	4,041236	4,258754	3,5504644	2,746968
10	-7,70213	39,6318	Ponto_001	1961	9	4,1386776	4,2835956	5,47949	3,456729	3,691221	3,7271006	4,706105	2,8141592
11	-7,70213	39,6318	Ponto_001	1961	10	4,3282156	4,3265986	4,8028593	3,6238706	3,6336253	3,6571977	4,1724987	3,4893427
12	-7,70213	39,6318	Ponto_001	1961	11	3,5772824	3,5350435	4,099789	2,7042668	3,2403789	3,1923366	3,5447135	2,3256137
13	-7,70213	39,6318	Ponto_001	1961	12	2,9941893	2,9763954	3,3219554	2,1383986	2,9232244	3,0462828	3,4688175	2,5005963
14													
15													

Figura 3.27 - Exemplo de um ficheiro com os valores médios mensais das anomalias das temperaturas.

Dados da Rede SAGRA

O Sistema Agrometeorológico para a Gestão da Rega no Alentejo (SAGRA) é composto actualmente por uma rede de 14 Estações Meteorológicas Automáticas (EMA) e dois concentradores, com arquivo de dados originais e corrigidos em bases de dados distintas nos referidos concentradores [45].

1		P	P	P	P	P	P	P	P	P
2	Data	1001	1002	1003	1004	1005	1006	1007	1008	1009
3	01-01-2003	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	02-01-2003	3.3	2.3	3.7	6.5	1.7	1.8	1.2	4.9	1.8
5	03-01-2003	3.2	3.1	2.3	2.8	0.1	0.1	3.1	0.5	0.4
6	04-01-2003	0	0	0	0.1	0	0	0.1	0.4	0.2
7	05-01-2003	3.7	3.8	4.5	4.6	3.8	4.6	4	5.6	4
8	06-01-2003	0.1	0	0.5	0.6	0.1	0.9	0	1.6	1.2
9	07-01-2003	13.3	9.8	5.8	8.1	12.1	13.5	20.2	6.7	7.7
10	08-01-2003	7.2	2	0.8	0.8	6	7.1	6.2	4.3	6.1
11	09-01-2003	9.1	7.3	2.2	5.7	5.8	9	11.5	12	4.6
12	10-01-2003	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 3.28 - Extracto do ficheiro que contém os valores diários da precipitação para as nove estações da rede SAGRA consideradas neste trabalho.

Para o cálculo das séries climáticas perturbadas era necessário ter dados observados e para isso usaram-se os dados da rede SAGRA. Foram recolhidos dados diários sobre precipitação (Figura 3.28), temperatura máxima e temperatura mínima para 5 anos (2003-2007) de 9 estações: Ferreiro do Alentejo (Herdade do Outeiro), Moura (Herdade dos Lameirões), Elvas (Perímetro de rega do Caia), Redondo (Perímetro de rega da Vigia), Aljustrel (Perímetro de

rega do Roxo), Alvalade do Sado (Perímetro de rega de Campilhas e Alto Sado), Beja (Quinta da Saúde), Évora (Perímetro de rega do Divor) e Odemira (Perímetro de rega do Mira). Das 14 estações disponíveis na rede SAGRA apenas se consideraram aquelas que tinham registos completos para o período de 2003-2007.

Estes dados foram então interpolados, usando o programa Interpolador [44] que já tinha sido utilizado na secção 3.3, para se obterem as séries de dados diários para cada um dos pontos da grelha de 10km.

Os ficheiros resultantes da interpolação foram agrupados por ponto (e.g. Figura 3.29) tendo-se para cada ponto da grelha de 10km os dados observados para a precipitação, temperatura máxima e temperatura mínima.

1	data	precip	tmax	tmin
2	01-01-2003	0	16,03772	10,07609
3	02-01-2003	4,16954	16,80981	11,39414
4	03-01-2003	2,3512	17,34414	8,3387
5	04-01-2003	0,07053	18,15425	7,37248
6	05-01-2003	4,34887	16,34754	7,55781
7	06-01-2003	0,48809	13,8106	4,60556
8	07-01-2003	9,19069	15,18826	4,76525
9	08-01-2003	2,56518	12,32025	5,53183
10	09-01-2003	6,38052	12,00054	3,02039
11	10-01-2003	0	9,95955	-0,32713
12	11-01-2003	0	10,07144	-2,97373
13	12-01-2003	0,01936	9,65058	-2,70856
14	13-01-2003	0,01919	11,01673	-2,78602
15	14-01-2003	0,01936	13,61852	-2,65558
16	15-01-2003	0	14,03053	-3,75056

Figura 3.29 - Exemplo de um ficheiro para um ponto da grelha de 10km, com a informação meteorológica interpolada da rede SAGRA.

Séries Climáticas Perturbadas

Tendo os ficheiros com as médias mensais das anomalias para a temperatura máxima e temperatura mínima, os ficheiros das anomalias médias mensais para a precipitação e os dados observados obtidos nas estações da rede SAGRA, interpolados para os pontos da grelha de 10km, finalmente puderam-se obter as séries climáticas perturbadas. Estas séries perturbadas servirão de base para o modelo de cálculo da evapotranspiração e do *deficit* hídrico.

Para obter estas séries perturbadas começa-se por pegar nos dados observados, interpolados para um dado ponto (Figura 3.29), e para cada linha lê-se o número do mês indo-se buscar ao ficheiro correspondente das anomalias das temperaturas e da precipitação os valores relativos a esse mês. Se se estiver a ler os valores da temperatura (máxima ou mínima), copiam-se os valores das anomalias e somam-se aos valores observados da temperatura máxima ou mínima. No caso da precipitação, multiplicam-se as anomalias pelos valores observados. Exemplo: na linha 2 da Figura 3.29 tem-se o mês 1 e na linha correspondente ao mês 1 do ficheiro das anomalias das temperaturas (Figura 3.27), que é também a linha 2, copia-se as colunas das anomalias das temperaturas para o ficheiro dos dados observados somando-se o valor da anomalia da temperatura máxima “tmax_dmi12” (2.5830507) com o valor observado (16.03772), ficando-se com o valor 18.62077 (2.5830507 + 16.03772), repetindo-se o mesmo processo para as colunas “tmax_dmi25”, “tmax_hc_a” e “tmax_hc_b”. Para a precipitação em vez de se somar tem-se que multiplicar os valores. A linha 2 da Figura 3.29 ficaria então com os valores mostrados na Figura 3.30.

tmax_dmi12	tmax_dmi25	tmax_HCA2	tmax_HCB2	tmin_dmi12	tmin_dmi25	tmin_HCA2	tmin_HCB2
18,62077	18,63586	19,19681	18,12616	12,77635	12,74072	13,49157	12,35059
19,39286	19,40796	19,9689	18,89825	14,09441	14,05877	14,80962	13,66864
19,92719	19,94228	20,50323	19,43258	11,03897	11,00333	11,75418	10,6132
20,7373	20,75239	21,31334	20,24269	10,07274	10,03711	10,78796	9,646981
18,93059	18,94568	19,50663	18,43598	10,25807	10,22244	10,97329	9,832312
16,39365	16,40874	16,96969	15,89904	7,305825	7,270188	8,02104	6,880061
17,77131	17,7864	18,34735	17,2767	7,465515	7,429879	8,18073	7,039752
14,9033	14,91839	15,47934	14,40869	8,232095	8,196459	8,947309	7,806332
14,58359	14,59868	15,15963	14,08898	5,720655	5,685019	6,43587	5,294891
12,5426	12,55769	13,11864	12,04799	2,373135	2,337499	3,08835	1,947372
12,65449	12,66958	13,23053	12,15988	-0,2734652	-0,3091013	0,4417498	-0,6992285
12,23363	12,24872	12,80967	11,73902	-0,008295059	-0,04393125	0,7069199	-0,4340584
13,59978	13,61487	14,17582	13,10517	-0,08575511	-0,1213913	0,6294599	-0,5115185
16,20157	16,21666	16,77761	15,70696	0,04468489	0,0090487	0,7598999	-0,3810785
16,61358	16,62867	17,18962	16,11897	-1,050295	-1,085931	-0,3350801	-1,476058

Figura 3.30 - Exemplo de um dos ficheiros finais para as séries climáticas perturbadas.

3.3.2 Solos

Para se atribuir o tipo de solo em cada um dos pontos da nova grelha de 10km foi usada a carta dos solos de Portugal produzida pelo Instituto De Desenvolvimento Rural e Hidráulica do Ministério da Agricultura, Desenvolvimento Rural e Pescas (IDRHa) em 1999 [46]. Esta carta é em formato digital e é constituída por ficheiros com a extensão E00. A extensão E00 corresponde a ficheiros *ESRI ArcInfo interchange* e são formatos de ficheiro propriedade da ESRI que se destinam a apoiar a transferência entre sistemas ESRI de diferentes tipos de dados

geoespaciais usados em *software* ESRI. Estes ficheiros foram importados um a um para o *ArcGIS* através do *ArcCatalog*. Após a importação dos ficheiros, estes foram exportados para uma *shapefile* para uma melhor e mais fácil utilização (Figura 3.31). Na Figura 3.32 pode-se observar a tabela com os atributos da família de solos.

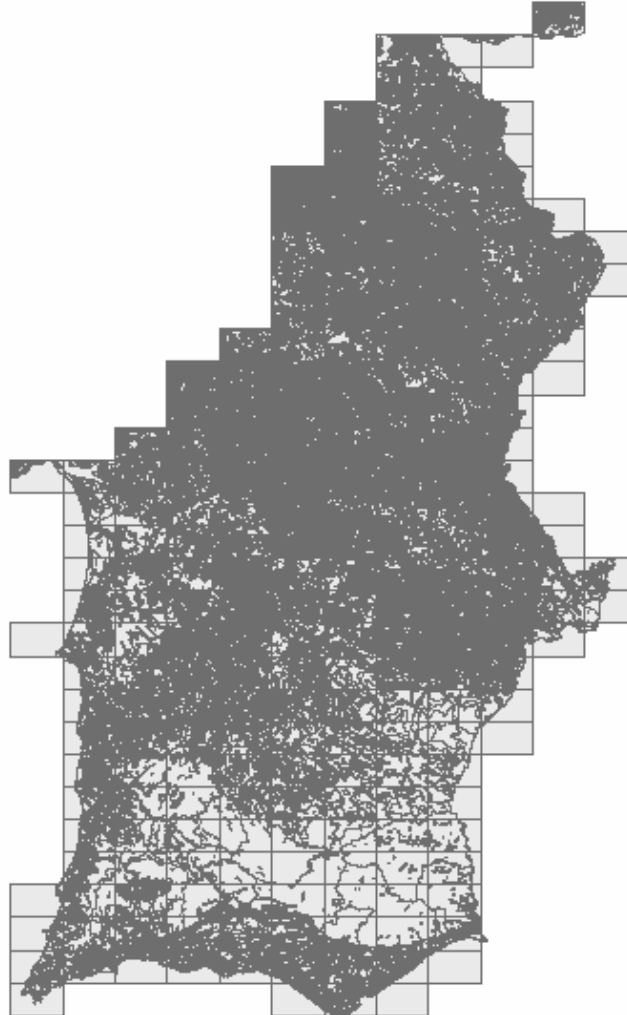


Figura 3.31 - *Shapefile* relativa à carta de solos produzida pelo IDRHa para a região do Alentejo e Algarve.

Attributes of polygon_Merg1_Project																			
FID	Shape *	AREA	PERIMETER	C306	C306 ID	MSL/INK	MAPID	LABEL MANC	N MANCHA	CARACT	COD1	COD2	COD3	PER1	PER2	PER3	CANCELHO	CODIGO	C
0	Polygon	1554,1707	190,387547	2	1	174001	335	1 Ex+Arx 9,1,0	1	Ex		Arx		9	1	0	DANHA-A-NOV	102009002	
1	Polygon	366508,7024	8215,38934	3	2	174003	335	3 Ex+Pd(p) 7,3,0	3	Ex		Pd(p)		7	3	0	DANHA-A-NOV	102009002	
2	Polygon	2120900,58525	21421,587437	4	3	174016	335	16 Srt+Pag 6,4,0	16	Srt		Pag		6	4	0	DANHA-A-NOV	102009002	
3	Polygon	1427,88595	147,845226	5	4	174013	335	13 Ca 10,0,0	13	Ca				10	0	0	DANHA-A-NOV	102009002	
4	Polygon	40193,29	1346,717183	6	5	174014	335	14 Ca 10,0,0	14	Ca				10	0	0	DANHA-A-NOV	102009002	
5	Polygon	114460,65665	2320,95174	7	6	174015	335	15 Pd(d,p)+Pag(p) 7,3,0	15	Pd(d,p)		Pag(p)		7	3	0	DANHA-A-NOV	102009002	
6	Polygon	241130,66905	3446,87573	8	7	174033	335	33 Pag(p)+Pd(d) 6,4,0	33	Pag(p)		Pd(d)		6	4	0	DANHA-A-NOV	102009002	
7	Polygon	461688,9309	12314,077152	9	8	174036	335	34 Srt(p)+Pd(d) 7,3,0	34	Srt(p)		Pd(d)		7	3	0	DANHA-A-NOV	102009002	
8	Polygon	57249,3976	1617,037547	10	9	174034	335	35 Pag(p)+Pd(d) 6,4,0	35	Pag(p)		Pd(d)		6	4	0	DANHA-A-NOV	102009002	
9	Polygon	12457,15415	454,076249	11	10	174035	335	36 Srt(p) 10,0,0	36	Srt(p)				10	0	0	DANHA-A-NOV	102009002	
10	Polygon	152581,5613	3165,727814	12	11	174039	335	39 Pag+Srt(p) 6,4,0	39	Pag		Srt(p)		6	4	0	DANHA-A-NOV	102009002	
11	Polygon	23667,3493	1097,926876	13	12	174040	335	40 Caa+Sba(h) 7,3,0	40	Caa		Sba(h)		7	3	0	DANHA-A-NOV	102009002	
12	Polygon	139088,7495	2010,086453	14	13	174041	335	41 Pag+Srt(p) 6,4,0	41	Pag		Srt(p)		6	4	0	DANHA-A-NOV	102009002	
13	Polygon	20844,4554	835,506096	15	14	174042	335	42 Caa 10,0,0	42	Caa				10	0	0	DANHA-A-NOV	102009002	
14	Polygon	27760,8874	968,616383	16	15	174043	335	43 Srt(p)+Pag(p) 6,4,0	43	Srt(p)		Pag(p)		6	4	0	DANHA-A-NOV	102009002	
15	Polygon	406928,8487	5537,665741	17	16	174046	335	46 Srt(p)+Pag 6,4,0	46	Srt(p)		Pag		6	4	0	DANHA-A-NOV	102009002	
16	Polygon	19352,8537	645,721189	18	17	174064	335	65 Srt(p)+Pag(p) 6,4,0	65	Srt(p)		Pag(p)		6	4	0	DANHA-A-NOV	102009002	
17	Polygon	10442,27465	431,529458	19	18	174065	335	68 Srt(p)+Pag 7,3,0	68	Srt(p)		Pag		7	3	0	DANHA-A-NOV	102009002	
18	Polygon	221428,6251	4338,224593	20	19	174087	335	64 Pag 10,0,0	64	Pag				10	0	0	DANHA-A-NOV	102009002	
19	Polygon	14161,63515	511,849132	21	20	174088	335	67 Srt(p)+Pag 7,3,0	67	Srt(p)		Pag		7	3	0	DANHA-A-NOV	102009002	
20	Polygon	18816,4326	807,509895	22	21	174088	335	68 Pag(p)+Srt(p) 6,4,0	68	Pag(p)		Srt(p)		6	4	0	DANHA-A-NOV	102009002	
21	Polygon	19677,4853	831,367572	23	22	174089	335	69 Al(b,p) 10,0,0	69	Al(b,p)				10	0	0	DANHA-A-NOV	102009002	

Figura 3.32 - Tabela de atributos dos solos.

Em seguida, como a carta dos solos vinha com o sistema de coordenadas militar português (elipsóide internacional, sistema de projecção *Hayford-Gauss*, datum Lisboa, com falsa origem) teve que ser projectada para o sistema de coordenadas dos pontos da grelha de 10km que é o WGS84. Para isso bastou fazer uma projecção no *ArcGIS* de um sistema para o outro usando os parâmetros de transformação já pré-definidos. Estes parâmetros de transformação usam a transformação de *Molodensky* [47](ver Anexo II).

Para se obter a informação relativamente aos solos e esta ser adicionada à tabela dos pontos da grelha de 10km, efectua-se uma operação de *spatial join* (adicionando a informação do polígono ao ponto segundo a localização deste, ou seja, recolhe a informação do polígono onde o ponto está contido). A tabela da *shapefile* resultante da operação de *spatial join* foi então exportada para poder ser editada em Microsoft Excel e ser excluída toda a informação não necessária.

Neste ficheiro apenas ficaram os campos (Figura 3.33):

- OID – identificador do ponto;
- NOME – nome original do ponto;
- NOVONOME – novo nome atribuído ao ponto;
- LONGITUDE – longitude em graus decimais do ponto;
- LATITUDE – latitude em graus decimais do ponto;
- COD1 – código do tipo 1 da classe de solo;
- COD2 – código do tipo 2 da classe de solo;
- COD3 – código do tipo 3 da classe de solo;
- CONCELHO – concelho ao qual pertence o ponto;
- RESERVAUTILIZAVEL – campo para cálculo do balanço hídrico;

1	OID_1	NOME	NOVONOME	LONGITUDE	LATITUDE	COD1	COD2	COD3	CONCELHO	RESERVAUTILIZAVEL
2	0	94 Ponto_001		-7,70213	39,6318	Ex	Arx		NISA	100
3	1	95 Ponto_002		-7,61223	39,6318	Ex	Arx		NISA	100
4	2	130 Ponto_003		-7,79203	39,5419	null	null	null	N/D	null
5	3	131 Ponto_004		-7,70213	39,5419	Ex			NISA	100
6	4	132 Ponto_005		-7,61223	39,5419	Ex	Arx		NISA	100
7	5	133 Ponto_006		-7,52233	39,5419	Px	Ca		NISA	100
8	6	165 Ponto_007		-7,97183	39,452	null	null	null	N/D	null
9	7	166 Ponto_008		-7,88193	39,452	Px	Pxr	Px(d)	GAVIAO	100
10	8	167 Ponto_009		-7,79203	39,452	Ppt(p)	Ppr(p)	Par(p)	NISA	100
11	9	168 Ponto_010		-7,70213	39,452	Pg			NISA	100
12	10	169 Ponto_011		-7,61223	39,452	Pg(d)	Arg		NISA	100
13	11	170 Ponto_012		-7,52233	39,452	Pg(d)	Arg		CASTELO DE VIDE	100
14	12	171 Ponto_013		-7,43243	39,452	Arg			CASTELO DE VIDE	100
15	13	172 Ponto_014		-7,34253	39,452	Arg			MARVAO	100
16	14	202 Ponto_015		-7,97183	39,3621	null	null	null	N/D	null
17	15	203 Ponto_016		-7,88193	39,3621	Ppt(p)	Ppr(p)		GAVIAO	100

Figura 3.33 - Exemplo do ficheiro final de informação dos solos.

Como exemplo, pode-se referir o Ponto_008 que tem no COD1 a sigla “Px” que corresponde a Solos Argiluvitados Pouco Insaturados - Solos Mediterrâneos, Pardos, de Materiais Não Calcários, Normais, de xistos ou grauvaques, no COD2 tem a sigla “Pxr” que corresponde a Solos Argiluvitados Pouco Insaturados - Solos Mediterrâneos, Pardos, de Materiais Não Calcários, Normais, de xistos ou grauvaques associados a rochas detríticas arenáceas e, por fim, no COD3 tem a sigla “Px(d)” que corresponde ao mesmo da sigla “Px” mas numa fase delgada.

Na Tabela 3.6 exemplifica-se algumas das classes de solos presentes no ficheiro:

Tabela 3.6 - Exemplo de algumas classes de solos existentes no ficheiro da base de dados dos solos

Classe do solo	Descrição da classe
Arg	Afloramento Rochoso de granitos ou quartzodioritos
Arx	Afloramento Rochoso de xistos ou grauvaques
Ca	Solos Hidromórficos, Sem Horizonte Eluvial, Para-Aluviossolos (ou Para-Coluviossolos), de aluviões ou coluviais de textura mediana
Ex	Solos Incipientes - Litossolos dos Climas de Regime Xérico, de xistos ou grauvaques
Pg	Solos Litólicos, Não Húmicos Pouco Insaturados, Normais, de granitos
Ppt (p)	Solos Podzolizados - Podzóis, (Não Hidromórficos), Com Surraipa, com A2 incipiente, de ou sobre arenitos numa fase pedregosa
Pxr	Solos Argiluvitados Pouco Insaturados - Solos Mediterrâneos, Pardos, de Materiais Não Calcários, Normais, de xistos ou grauvaques associados a rochas detríticas arenáceas

4. Integração de um modelo simplificado de cálculo das necessidades hídricas na aplicação GISClmReg

4.1 Considerações gerais

Neste trabalho procedeu-se à integração de um modelo simplificado de cálculo das necessidades hídricas e do *deficit* hídrico na aplicação GISClmReg (Figura 4.1) de forma a permitir avaliar os impactos das alterações climáticas ao nível da região do Alentejo.

Adoptou-se um modelo simplificado para o cálculo das necessidades hídricas das culturas pois no decorrer deste trabalho não havia disponibilidade de tempo para se integrar o modelo IrrigRotation, cuja base de dados e o algoritmo do programa obrigariam a um processo demorado para se proceder à sua integração. Assim, procedeu-se ao desenvolvimento deste modelo simplificado uma vez que o que se pretendia estudar, do ponto de vista das tecnologias SIG, qual era a melhor estratégia de integração de modelos de simulação do balanço hídrico, e de gestão das séries temporais de dados meteorológicos utilizados por estes modelos. Construiu-se assim uma plataforma de integração de modelos, com base neste modelo simplificado, que permitiu testar as opções de integração desenvolvidas e que no futuro permitirá integrar facilmente outros modelos de simulação, tais como o IrrigRotation.

Procedeu-se ao desenvolvimento de uma plataforma de integração de modelos de simulação da rega, que compreende a interface gráfica com o utilizador, a estruturação dos dados de base numa grelha de 10km (ver secção 4.3.2) que fornece os dados de *input* ao modelo e armazena os seus resultados e a interface de comunicação dos dados entre o modelo e a aplicação GISClmReg. A plataforma de integração de modelos foi desenvolvida para que seja fácil a integração com outros modelos para operar sobre a grelha de dados construída (secção 3.3).

A Figura 4.1 mostra um fluxograma que descreve o modo de funcionamento desta parte da aplicação GISClmReg. O modelo é chamado através da interface da aplicação GISClmReg, corre sobre as séries climáticas perturbadas diárias (grelha de 10km), já faladas anteriormente na secção 3.3.1, e calcula com um intervalo de tempo diário os valores da evapotranspiração de referência (ET_o) e *deficit* hídrico (DefH).

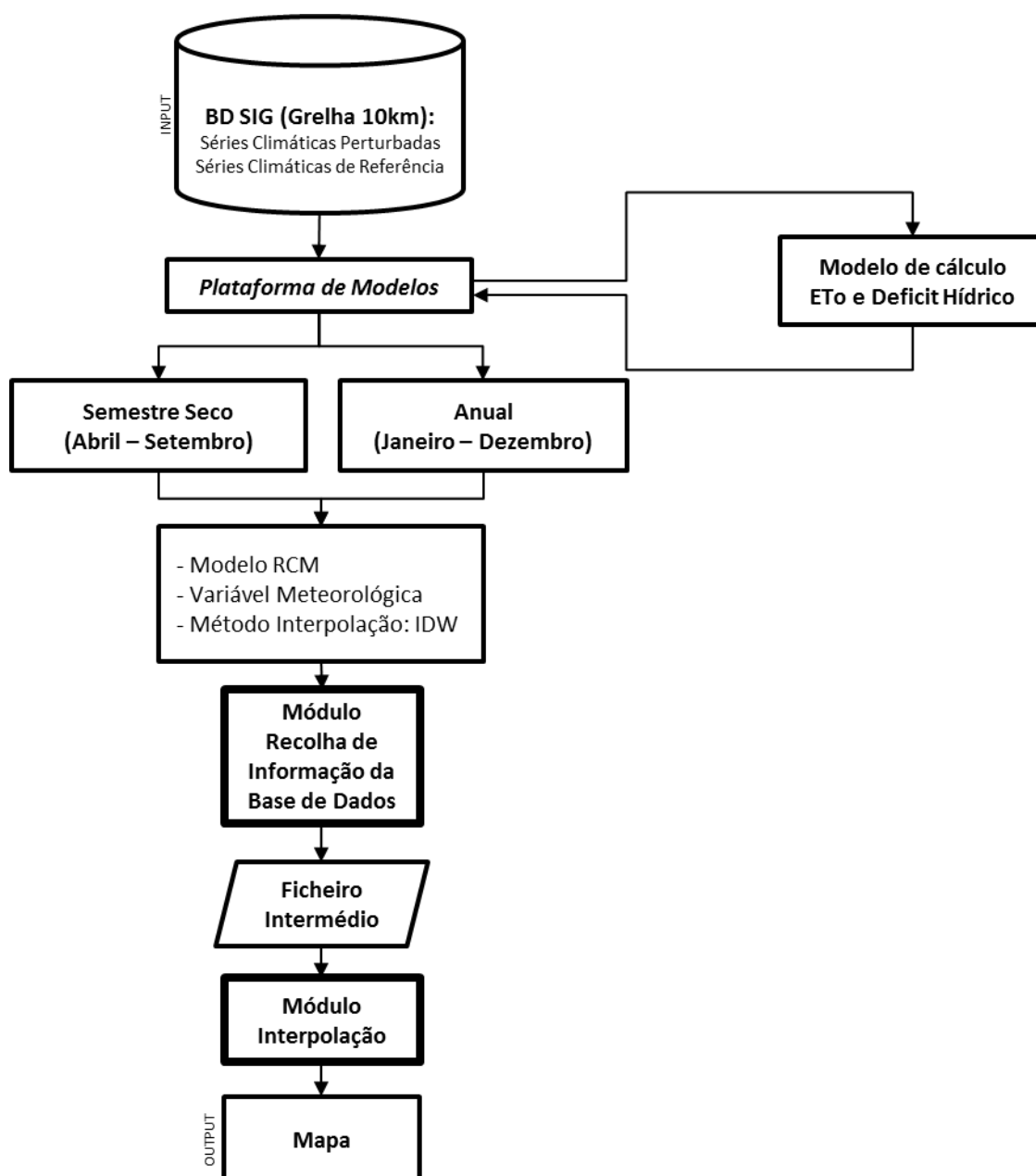


Figura 4.1 - Fluxograma de funcionamento da plataforma de modelos da aplicação GISlimReg.

4.2 Descrição do modelo simplificado de cálculo da evapotranspiração de referência e *deficit* hídrico

O modelo simplificado de cálculo das necessidades hídricas das culturas foi construído em colaboração com o Instituto Superior de Agronomia (ISA). Este modelo está estruturado em quatro módulos, leitura dos dados de entrada, cálculo da evapotranspiração de referência, cálculo do *deficit* hídrico e exportação dos dados de saída. Apesar da sua simplicidade permite a realização de um estudo exploratório dos impactos das alterações climáticas sobre os principais parâmetros considerados na gestão da rega.

Nas próximas secções descrevem-se as fórmulas de cálculo da evapotranspiração de referência (ET₀) e do *deficit* hídrico (DefH) implementados no modelo de cálculo das necessidades hídricas.

4.2.1 Evapotranspiração

A evapotranspiração (Figura 4.2) é um fenómeno complexo constituído fundamentalmente por dois subprocessos: 1) a evaporação a partir do solo, da superfície da vegetação e superfícies de água (lagos, albufeiras, rios, etc.); 2) a transpiração das plantas, em que a água é removida do solo pelas raízes das plantas e evaporada para a atmosfera a partir do interior das folhas [48].



Figura 4.2 - Evapotranspiração de Referência [49].

A evaporação e a transpiração ocorrem simultaneamente e não existe maneira fácil de distinguir entre os dois processos. À parte da disponibilidade de água no solo, a evaporação de um solo cultivado é determinada principalmente pela fracção de radiação solar que atinge a superfície do solo. Na fase inicial das culturas a evapotranspiração deve-se predominantemente à evaporação do solo, mas quando as culturas já estão bem desenvolvidas e cobrem por completo o solo, a transpiração torna-se no processo principal [49].

As necessidades de água de uma cultura correspondem à procura evapotranspirativa dessa cultura em determinado ambiente e recebendo determinados tratamentos culturais. A evapotranspiração das culturas pode observar-se através de lisímetros, ser calculada recorrendo a observações micrometeorológicas ou ser estimada com base em variáveis agrometeorológicas observadas em estações meteorológicas, solução que é usada na prática na gestão do regadio [50].

A taxa de evapotranspiração de uma superfície de referência sem falta de água é chamada evapotranspiração da cultura de referência ou simplesmente de evapotranspiração de referência e é representada por ETo . “A evapotranspiração de referência (ETo) define-se como a taxa de evapotranspiração de uma cultura de referência hipotética, para a qual se assume uma altura de 0.12 m, uma resistência de superfície constante de 70 s m^{-1} e um albedo de 0.23, semelhante à evapotranspiração de um extenso coberto de relva verde de altura uniforme, em crescimento activo, cobrindo totalmente o solo e bem abastecido em água” [49][51].

O conceito de evapotranspiração de referência foi introduzido para estudar a potência evaporativa da atmosfera independentemente do tipo de cultura, do seu estágio de desenvolvimento e das práticas de gestão. Como a água está disponível abundantemente na superfície evapotranspirativa de referência, os factores do solo não afectam a evapotranspiração. Relacionar a evapotranspiração com uma superfície específica fornece uma referência para que a evapotranspiração de outras superfícies se relacionem. Evita-se assim a definição de uma evapotranspiração diferente para cada cultura e fase de crescimento. Os valores da evapotranspiração de referência sejam medidos ou calculados em locais diferentes ou em estações diferentes são comparáveis, pois eles referem-se à evapotranspiração de uma mesma superfície de referência [49].

Os únicos factores que afectam a evapotranspiração de referência (ETo) são parâmetros climáticos. Consequentemente, a ETo é um parâmetro climático e pode ser calculado a partir de dados climáticos. A evapotranspiração de referência expressa a potência evaporativa da atmosfera num local e altura do ano específico e não considera as características das culturas e os factores do solo.

As faixas de valores típicas da ETo para diferentes regiões climáticas são dadas na Tabela 4.1. Estes valores apenas pretendem mostrar as gamas de valores típicos e não se destinam a uma aplicação directa [49].

Tabela 4.1 - Evapotranspiração de referência média para diferentes regiões climáticas (mm/dia)[49]

Regiões		Temperatura média diária (°C)		
		Frio ($\approx 10^\circ\text{C}$)	Moderado (20°C)	Quente ($> 30^\circ\text{C}$)
Trópicos e subtropicais	Húmido e sub-húmido	2-3	3-5	5-7
	Árido e semiárido	2-4	4-6	6-8
Região Temperada	Húmido e sub-húmido	1-2	2-4	4-7
	Árido e semiárido	1-3	4-7	6-9

Existem diversos métodos de cálculo da evapotranspiração de referência dos quais se destacam: Penman-Monteith (FAO-PM), Hargreaves, Hargreaves-Samani, Jensen-Haise, Makkink, Priestley-Taylor e Turc [52]. O método Penman-Monteith é recomendado pela *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO) como sendo o método mais preciso, fornecendo uma boa estimação dos valores de ETo [49]. No entanto este método é muito exigente do ponto de vista dos dados climáticos de que necessita, e que nem sempre se encontram disponíveis em todas as estações meteorológicas. Para este trabalho optou-se por considerar o método mais simples de Hargreaves-Samani que utiliza a Equação 4.1 [49][53][54].

$$ET_o = \alpha(T + 17.78)(T_{max} - T_{min})^{0.5}R_a \quad (4.1)$$

onde:

ETo – Evapotranspiração de referência (mm/dia);
T – temperatura média do ar (°C);
R_a – radiação extraterrestre (mm/dia);
T_{max} – temperatura máxima do ar (°C);
T_{min} – temperatura mínima do ar (°C);
α = 0.0023;

O método de Hargreaves-Samani foi estudado para a região do Alentejo apresentando resultados semelhantes ao modelo mais complexo FAO-PM [52]. A opção por considerar este método mais simples deveu-se ao facto de que a consideração de um método mais complexo e a realização de um estudo aprofundado dos impactos das alterações climáticas sobre o regadio é um processo muito demorado, não se enquadrando no âmbito deste relatório. Assim, procedeu-se à integração de um modelo simplificado que permitiu testar as soluções adoptadas e aperfeiçoar as estratégias de integração de modelos de simulação num SIG de um modo mais ágil que um modelo de balanço hídrico muito complexo, que necessariamente introduziria maior rigidez no desenvolvimento da plataforma de modelos, não permitiria.

Este modelo foi desenvolvido para correr sobre os dados das séries climáticas perturbadas (grelha de 10km) descritos na secção 3.3.1. Na Figura 4.3 estão representados os mapas elaborados pela aplicação GISClmReg com os dados provenientes do cálculo da ETo.

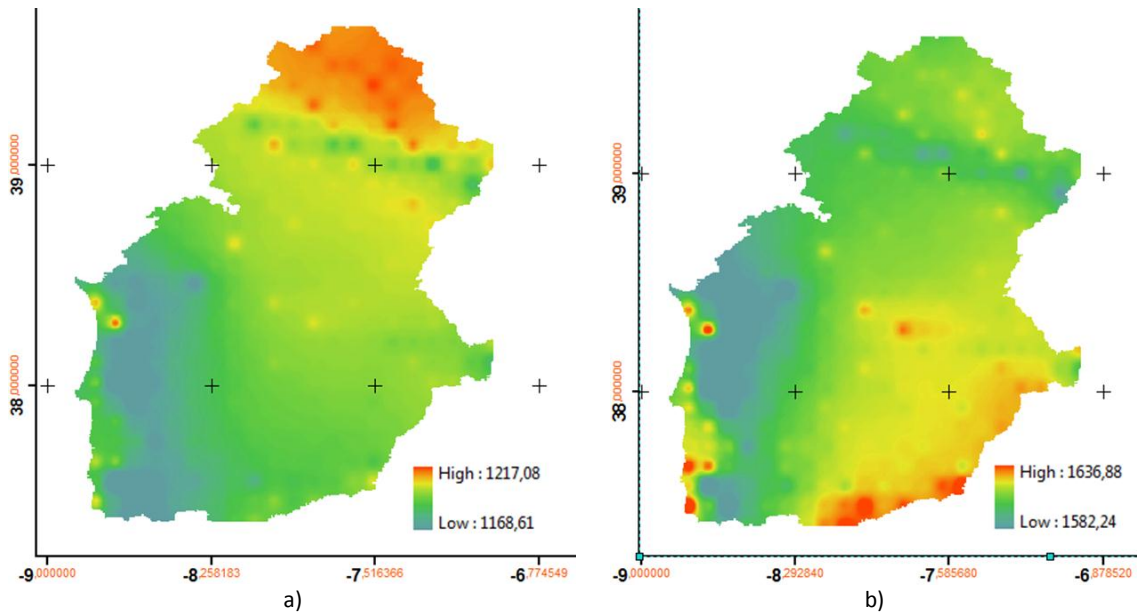


Figura 4.3 - Representação da evapotranspiração de referência para os períodos: a) Semestre Seco e b) Anual, ambos do modelo DMI de 12km (mm/ano).

4.2.2 Deficit Hídrico

O *deficit* hídrico pode ser definido como quantidade de água removida do solo à profundidade de enraizamento da cultura. Corresponde, assim, à quantidade de água necessária para encher a zona das raízes para repor o solo à capacidade de campo. A água no solo diminui à medida que a cultura a extrai (evapotranspiração) e aumenta à medida que é adicionada pela precipitação ou pela rega. Na Figura 4.4 apresenta-se uma representação típica do balanço hídrico do solo [55].

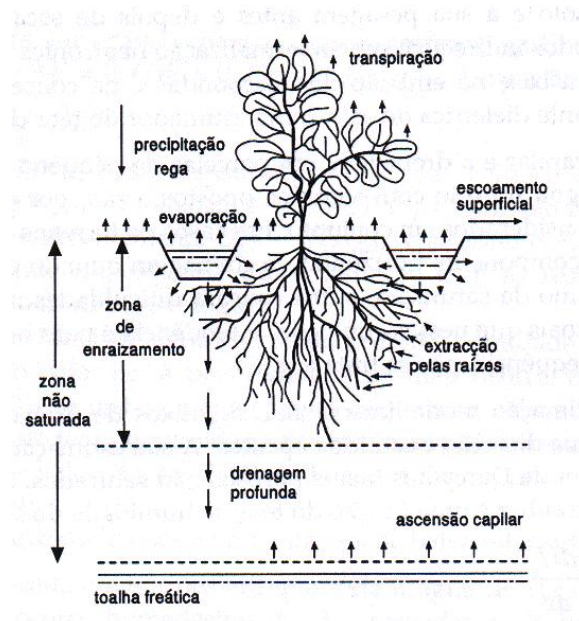


Figura 4.4 - Esquema dos termos do balanço hídrico da zona de enraizamento em regadio [56].

No caso deste trabalho entende-se como *deficit* hídrico (DefH) a diferença entre a ETo e a precipitação. Corresponde, assim, à procura climática que não é satisfeita pela precipitação. Para calcular o *deficit* hídrico usou-se a Equação 4.2.

$$DH = ET_0 - P \quad (4.2)$$

onde:

DH – *deficit* hídrico;
 P – precipitação;
 ET₀ – evapotranspiração de referência¹;

O modelo opera sobre as séries climáticas (referência e perturbadas) da grelha de 10km construídas anteriormente (secção 3.3.1) e calcula os valores de DefH. Os resultados (séries diárias de DefH) são armazenados para os pontos da grelha de 10km, permitindo gerar mapas com o zonamento dos valores de DefH. Os mapas produzidos pela aplicação GISClmReg provenientes do modelo simplificado, correspondem às médias anuais e para o semestre seco (Abril-Setembro) dos valores de DefH calculados para cada um dos modelos RCM e cenários climáticos (Figura 4.5).

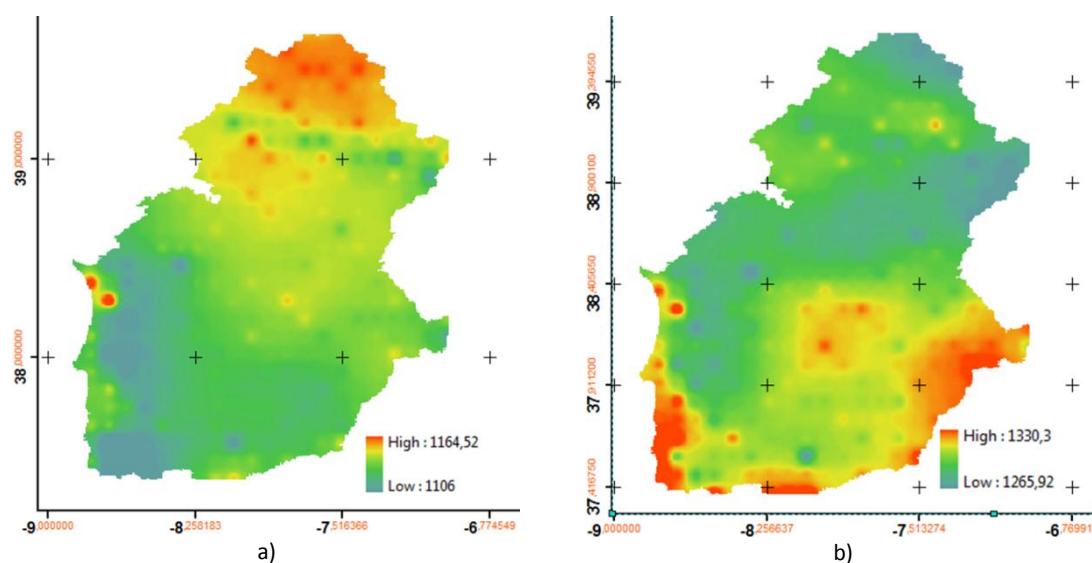


Figura 4.5 - Mapas representativos do *Deficit* Hídrico: a) Semestre Seco e b) Anual, ambos para o modelo DMI de 12km (mm/ano).

4.3 Integração do modelo com a aplicação GISClmReg

O modelo simplificado de cálculo da evapotranspiração de referência (ETo) e do *deficit* hídrico (DefH) foi integrado na aplicação GISClmReg, tendo-se adicionado um novo *tab* à interface

¹ A Evapotranspiração de referência utilizada é a calculada através do método de Hargreaves-Samani.

gráfica e desenvolvido interfaces de comunicação dos dados entre o modelo e a grelha de 10km.

4.3.1 Interface Gráfica

A interface gráfica com o utilizador (Figura 4.6), responsável pela interacção com o modelo é composta por 2 partes: i) correr o modelo de cálculo da ETo e DefH e ii) análise dos resultados produzidos pelo modelo. A análise dos resultados compreende duas alternativas: anual e semestre seco (Abril-Setembro), criando-se no final os mapas respectivos.

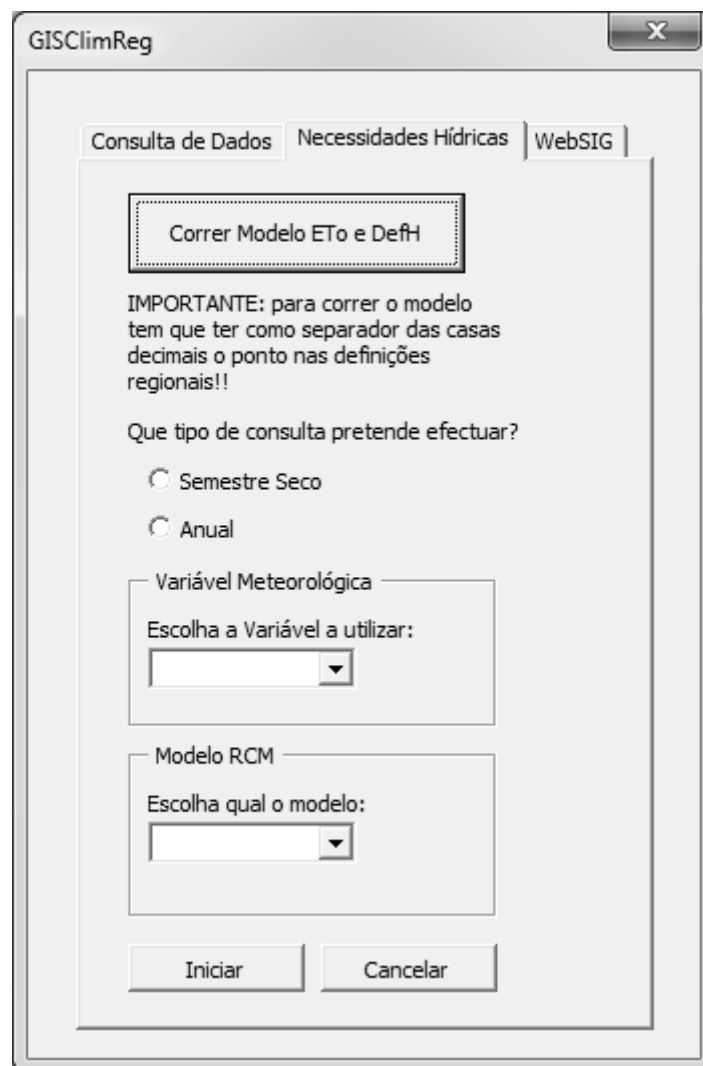


Figura 4.6 - Interface para correr o Modelo de cálculo da ETo e DefH e para gerar os respectivos mapas.

Para correr o modelo pressiona-se o botão de comando apresentado na Figura 4.6. Ao pressionar o botão que faz correr o modelo, este tem uma chamada a um ficheiro executável externo à aplicação GISClmReg. A chamada do modelo é realizada através da função “Shell”

(pertencente à biblioteca "Microsoft.VisualBasic.dll" da linguagem VBA) conforme é apresentada na Figura 4.7.

```
Private Sub runModelButton_Click()  
  
    Shell ("d:/Tese/GISCLimReg_ETo/GISCLimReg_ETo.exe")  
  
End Sub
```

Figura 4.7 - Código para executar a função "Shell" e fazer correr o modelo de cálculo da evapotranspiração de referência e do *deficit* hídrico.

O executável que contém o modelo foi desenvolvido em *Visual Basic* (VB), sendo guardado na mesma pasta dos ficheiros da grelha de 10km, juntamente com alguns ficheiros de texto auxiliares. Mais à frente na secção 4.3.2 descrever-se-á em pormenor a ligação do programa de cálculo da ETo e DefH à base de dados SIG.

Após correr o modelo, os resultados da ETo e do DefH produzidos para cada um dos pontos da grelha de 10km, são armazenados em ficheiros de texto, na mesma directoria dos ficheiros iniciais da grelha de 10km. O output do modelo é posteriormente processado através do módulo de análise, em função dos parâmetros seleccionados. O módulo de análise disponibiliza duas opções para o cálculo das médias das séries temporais: Semestre Seco e Anual.

A opção "Semestre Seco" realiza a média dos valores das séries diárias das variáveis meteorológicas para o período de Abril a Setembro, que corresponde ao período com maior interesse para as culturas de regadio, para as condições de Portugal. A opção "Anual" realiza a média anual das séries diárias das variáveis meteorológicas consideradas. Seguidamente, o utilizador terá que escolher sobre qual a variável que pretende analisar. As variáveis disponíveis são:

- Precip – precipitação (mm/dia);
- Tmax – temperatura máxima (°C);
- Tmin – temperatura mínima (°C);
- T2m – temperatura média (°C);
- ETo – evapotranspiração de referência (mm/dia);
- DefH – *deficit* hídrico (mm/dia);

O utilizador terá também que escolher o cenário e modelo RCM que pretende analisar. As opções são: Def, DMI12, DMI25, HCA2 e HCB2. A opção "Def" representa os dados observados

nas estações meteorológicas da rede SAGRA para o período de referência (2003-2007). Esta opção está disponível pois é necessário ter os dados do período de referência para se poderem comparar com os dados do período de cenário e se poder quantificar as alterações verificadas entre os dois períodos. As restantes opções correspondem aos quatro modelos climáticos considerados neste trabalho.

É de salientar que os *outputs* do modelo são apenas os parâmetros ETo e DefH, no entanto, para além destas duas variáveis decidiu-se também disponibilizar no módulo de análise as variáveis temperatura e precipitação que serviram de base ao cálculo realizado pelo modelo.

Quando se activa a opção “Iniciar” inicia-se o processo de geração de mapas (Figura 4.6). A aplicação GISClmReg lê os dados de output do modelo para a grelha de 10km e cria um ficheiro intermédio, com os valores médios da variável considerada, sendo este ficheiro posteriormente processado pelo módulo de interpolação espacial da aplicação GISClmReg, num processo muito similar ao do Módulo de Interpolação já referido na secção 3.2. Este módulo realiza mapas com as médias (anuais ou relativa ao semestre seco) e utiliza o método de interpolação IDW pelos motivos já referidos no Módulo de Interpolação da secção 3.2. Mais à frente, na secção 4.3.3, descreve-se o processo de geração dos mapas da ETo e DefH com mais detalhe.

4.3.2 Comunicação (input/output) com a grelha de 10km

Os dados sobre os quais corre o modelo simplificado de cálculo da ETo correspondem às séries climáticas diárias dos ficheiros de texto associados aos pontos da grelha de 10km, que já foram descritos anteriormente na secção 3.3.1 (Figura 4.8). Estes dados correspondem às variáveis meteorológicas precipitação, temperatura mínima e temperatura máxima, para o período compreendido entre 2003 e 2007, para os dados observados, e para a média do período 2071 a 2100, para as séries perturbadas.

1	data	precip	tmax	tmin	precip_dmi12	precip_dmi25	precip_hc_a	precip_hc_b	tmax_dmi12	tmax_dmi25	tmax_hc_a	tmax_hc_b
2	01-01-2003	0	16,03772	10,07609	0	0	0	0	18,62077	18,635864	19,196812	18,12616
3	02-01-2003	4,16954	16,80981	11,39414	4,685562	4,753401	4,119839	3,399384	19,39286	19,407955	19,968903	18,89825
4	03-01-2003	2,3512	17,34414	8,3387	2,6421845	2,6804388	2,3231738	1,9169098	19,927189	19,942284	20,503231	19,432579
5	04-01-2003	0,07053	18,15425	7,37248	0,07925879	0,080406316	0,06968928	0,0575024	20,7373	20,752394	21,313341	20,24269
6	05-01-2003	4,34887	16,34754	7,55781	4,887086	4,9578424	4,2970314	3,54559	18,930592	18,945684	19,506632	18,43598
7	06-01-2003	0,48809	13,8106	4,60556	0,548496	0,55643725	0,482272	0,39793488	16,39365	16,408745	16,969692	15,89904
8	07-01-2003	9,19069	15,18826	4,76525	10,32813	10,477663	9,081138	7,4930773	17,77131	17,786404	18,347351	17,276701
9	08-01-2003	2,56518	12,32025	5,53183	2,8826468	2,9243822	2,534603	2,0913656	14,9033	14,918394	15,4793415	14,4086895
10	09-01-2003	6,38052	12,00054	3,02039	7,1701727	7,2739844	6,3044643	5,201974	14,5835905	14,598684	15,159632	14,08898
11	10-01-2003	0	9,95955	-0,32713	0	0	0	0	12,542601	12,5576935	13,118641	12,04799
12	11-01-2003	0	10,07144	-2,97373	0	0	0	0	12,65449	12,669584	13,230532	12,15988
13	12-01-2003	0,01936	9,65058	-2,70856	0,021755993	0,022070982	0,01912923	0,015784014	12,233631	12,248724	12,809671	11,73902
14	13-01-2003	0,01919	11,01673	-2,78602	0,021564955	0,021877177	0,018961256	0,015645415	13,599781	13,614874	14,175821	13,10517
15	14-01-2003	0,01936	13,61852	-2,65558	0,021755993	0,022070982	0,01912923	0,015784014	16,20157	16,216663	16,77761	15,70696
16	15-01-2003	0	14,03053	-3,75056	0	0	0	0	16,61358	16,628674	17,189621	16,11897

Figura 4.8 - Extracto do ficheiro de um ponto sobre o qual o corre o modelo de cálculo da evapotranspiração de referência e do deficit hídrico.

O ficheiro apresentado na Figura 4.8 diz respeito aos dados da rede SAGRA interpolados para os pontos da grelha de 10km (secção 3.3) tendo a sua construção já sido explicada na secção 3.3.1, mais concretamente na parte das Séries Climáticas Perturbadas.

Para o modelo correr são necessários outros ficheiros além dos que contêm os valores das séries climáticas como se pode observar na Figura 4.9.

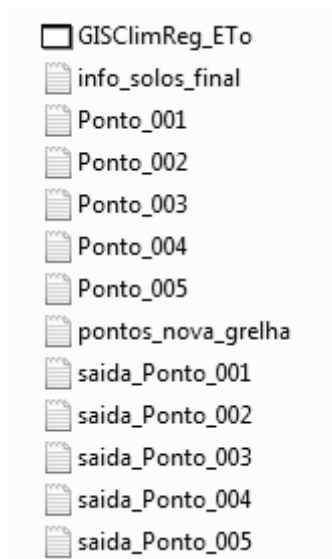


Figura 4.9 - Exemplo de organização da pasta onde se encontram os ficheiros de entrada para correr o modelo de cálculo da evapotranspiração de referência e do deficit hídrico e os respectivos ficheiros de saída.

São então necessários os seguintes ficheiros (de notar que no exemplo da Figura 4.9 estão presentes apenas alguns dos ficheiros dos pontos da grelha de 10km):

- Ficheiro GISClimReg_ETo que é o ficheiro executável necessário para correr o modelo;

- Ficheiro “pontos_nova_grelha” que contém a informação dos pontos da grelha (Figura 3.23) onde se lê a latitude e longitude do ponto assim como o seu nome e identificador;
- Ficheiro “info_solos_final” que contém a informação do tipo de solos para cada um dos pontos da grelha de 10km (Figura 3.33);
- Ficheiros com os valores das séries meteorológicas (referência e cenários de alteração climática) da rede SAGRA (Ponto_001, Ponto_002, Ponto_003, Ponto_004 e Ponto_005) já interpolados para os pontos da grelha de 10km (Figura 4.8);

Ao correr o modelo este produz um novo ficheiro para cada um dos pontos da grelha de 10km com os cálculos diários da ETo e do DefH para cada um dos cenários climáticos (e.g. Figura 4.10) usando as fórmulas apresentadas anteriormente na secção 4.2.1 para a ETo e secção 4.2.2 para o DefH. O nome dos ficheiros de *output* do modelo é obtido acrescentando o prefixo “saída_” ao nome do ponto que o modelo está a ler (Figura 4.9).

1	ETO_Harg_DMI12	DefH_DMI12	ETO_Harg_DMI25	DefH_DMI25	ETO_Harg_HCA2	DefH_HCA2	ETO_Harg_HCB2	DefH_HCB2
2	1,07	1,07	1,07	1,07	1,08	1,08	1,05	1,05
3	1,05	-3,635562	1,06	-3,693401	1,06	-3,059839	1,03	-2,369384
4	1,32	-1,322184	1,32	-1,360439	1,34	-0,9831737	1,3	-0,6169099
5	1,45	1,370741	1,45	1,369594	1,47	1,400311	1,42	1,362498
6	1,28	-3,607086	1,28	-3,677842	1,3	-2,997031	1,26	-2,28559
7	1,21	0,661504	1,21	0,6535628	1,22	0,737728	1,18	0,782065
8	1,33	-8,99813	1,33	-9,147663	1,34	-7,741138	1,3	-6,193077
9	1,04	-1,842647	1,04	-1,884382	1,05	-1,484603	1,01	-1,081366
10	1,14	-6,030173	1,15	-6,123984	1,16	-5,144464	1,12	-4,081974
11	1,11	1,11	1,12	1,12	1,13	1,13	1,09	1,09
12	1,2	1,2	1,2	1,2	1,23	1,23	1,17	1,17
13	1,17	1,148244	1,17	1,147929	1,2	1,180871	1,15	1,134216
14	1,28	1,258435	1,28	1,258123	1,31	1,291039	1,25	1,234355
15	1,48	1,458244	1,48	1,457929	1,51	1,490871	1,45	1,434216
16	1,54	1,54	1,54	1,54	1,57	1,57	1,51	1,51
17	1,65	1,643853	1,65	1,643764	1,68	1,674595	1,62	1,61554
18	1,16	1,16	1,16	1,16	1,17	1,17	1,13	1,13
19	1,3	-2,37056	1,3	-2,423703	1,31	-1,917386	1,27	-1,392998
20	1,35	-2,197721	1,35	-2,249086	1,36	-1,759379	1,32	-1,253879

Figura 4.10 - Extracto do ficheiro de output, para um dado ponto, produzido pelo modelo de cálculo da evapotranspiração de referência e do deficit hídrico.

Este novo ficheiro corresponde ao ficheiro inicial adicionado das colunas relativas à ETo e DefH para cada cenário climático. As colunas relativas ao ficheiro inicial são:

- P
- Tmax
- Tmin
- P_dmi12
- P_dmi25
- P_HCA2
- P_HCB2
- tmax_dmi12
- tmax_dmi25
- tmax_HCA2
- tmax_HCB2
- tmin_dmi12
- tmin_dmi25
- tmin_HCA2
- tmin_HCB2

que correspondem aos valores das variáveis precipitação, temperatura máxima e temperatura mínima, para cada um dos cenários climáticos. As novas colunas adicionadas pelo modelo são:

- ETo_Harg
- Def_hidr
- ETO_Harg_DMI12
- DefH_DMI12
- ETO_Harg_DMI25
- DefH_DMI25
- ETO_Harg_HCA2
- DefH_HCA2
- ETO_Harg_HCB2
- DefH_HCB2

que correspondem aos valores calculados pelo modelo para a ETo e para o DefH, para o período de referência e para cada um dos cenários de alteração climática.

Estes novos ficheiros são guardados na mesma pasta dos ficheiros que são usados como base para o modelo (Figura 4.9) e são estes novos ficheiros que a aplicação GISClmReg consulta para elaborar as análises e para criar os mapas de acordo com os parâmetros seleccionados na *tab* “Necessidades Hídricas” da interface gráfica.

4.3.3 Análise dos resultados e geração de mapas

A análise dos resultados produzidos pelo modelo de cálculo da ETo e do DefH e a geração dos mapas respectivos, consiste num procedimento semelhante ao já apresentado na secção 3.2 em que se descreve o módulo de interpolação da aplicação GISClmReg.

Como se pode ver na Figura 4.1, após se correr o modelo de cálculo da ETo, a plataforma de modelos executa o módulo de recolha de informação da base de dados SIG, com base nos parâmetros de entrada definidos pelo utilizador na interface gráfica, cria um ficheiro intermédio com as médias e em seguida é executado o módulo de interpolação sendo por fim criado o mapa da variável seleccionada.

O módulo de recolha de informação da base de dados opera sobre os novos ficheiros criados pelo modelo, que contêm as séries climáticas de referência, as séries climáticas perturbadas e os valores de ETo e DefH calculados pelo modelo. Estes dados já foram descritos na secção 4.3.2.

Este módulo é bastante similar ao desenvolvido na secção 3.2 mas como a organização dos dados dos ficheiros de *input*, assim como os parâmetros de entrada, são ligeiramente diferentes, em vez de se estender a função já desenvolvida, optou-se por criar uma nova função. Uma vez que só existem dois períodos distintos de análise (Semestre Seco e Anual) e não são necessárias passagens de ano (como foi no caso da opção trimestral no Módulo Sazonal da secção 3.2) foi criada uma função mais simples de leitura dos dados da base de

dados SIG e de criação do ficheiro intermédio. Tal como a função desenvolvida anteriormente, esta corre sobre os ficheiros das séries climáticas, para todos os pontos da grelha de 10km, e de acordo com os parâmetros introduzidos pelo utilizador cria um ficheiro intermédio com as médias respectivas para o período de análise. Apresenta-se de seguida na Figura 4.11 um exemplo de pseudo-código, do módulo de análise, que serve para ler os ficheiros dos pontos da grelha e criar o ficheiro intermédio com a média da ETo e para o semestre seco:

```
Para todos os ficheiros da base de dados:
  Se data tiver o mês compreendido entre 4 e 9 então:
    Se coluna tem o nome ETo_Harg então:
      Enquanto não chega ao final do ficheiro
        Soma os valores da coluna a uma variável
      Quando chega ao final do ficheiro pega no valor da variável e
      divide-a por 5 (para se obter os valores anuais) e guarda o
      valor da variável numa matriz, as respectivas coordenadas X e
      Y juntamente com o nome do ponto
```

Figura 4.11 - Exemplo de um extracto de pseudo-código do módulo de análise.

Este módulo gera um ficheiro intermédio igual ao já apresentado na Figura 3.18 da secção 3.2 com as médias anuais da ETo de todos os pontos.

Após a geração do ficheiro intermédio são utilizados os módulos de interpolação e de geração de mapas do GISclimReg já descritos na secção 3.2. O ficheiro intermédio é adicionado ao *Table of Contents* (TOC) como uma tabela, em seguida é adicionado um *XYEvent* para criar um *layer* temporário com pontos baseado em coordenadas X e Y da tabela adicionada anteriormente. Para isso executam-se os seguintes passos:

- Definem-se os campos correspondentes à latitude e longitude;
- É definido um sistema de coordenadas (GCS_WGS_1984¹);
- O *layer* é exportado como *shapefile* para poder ser processada a interpolação espacial;
- Adiciona-se a *shapefile* ao TOC;

De seguida processa-se a interpolação espacial usando somente o método IDW pelas razões já explicadas anteriormente quando se descreveu o Módulo de Interpolação da secção 3.2. Após a interpolação estar concluída “recorta-se” a superfície contínua obtida, pelos limites geográficos do Alentejo usando o método *clipping* e uma *shapefile* com os limites administrativos do Alentejo ficando assim com um aspecto semelhante ao apresentado na Figura 3.21.

¹ GCS_WGS_1984 é a referência para o sistema de coordenadas geográficas WGS84 já apresentadas na Tabela 3.5.

No final de todas estas operações, alteram-se os valores da paleta de cores, que têm como valores pré-definidos o preto para valores mais baixos e o branco para valores mais altos, para um conjunto de cores esteticamente mais atractivos e mais perceptíveis de analisar. Por último, exporta-se a *shapefile* final para KMZ para posteriormente também poder ser incluído, se assim se desejar, na página *web* desenvolvida no âmbito deste trabalho e que é apresentada no Capítulo 5.

Os resultados destas operações são os já apresentados na Figura 4.3 com um exemplo da ETo e na Figura 4.5 com um exemplo do DefH.

5. Disponibilização da informação na WEB

Para ajudar na divulgação dos resultados do projecto decidiu-se criar uma página web simples para a disponibilização de alguns dos resultados de análise feitos aos dados climáticos.

5.1 Introdução

A *World Wide Web*, também conhecida como *WWW*, ou *W3* e comumente tratada por *Web*, é um sistema de documentos hipertexto interligados que podem ser acedidos pela internet. Com um *browser*, o utilizador pode visualizar estas páginas que podem conter imagens, vídeos, e outro tipo de multimédia e navegar entre elas através de hiperligações.

Em Março de 1989, o cientista e engenheiro inglês que na altura trabalhava no *Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire* (CERN), Sir Tim Berners-Lee, agora director do *World Wide Web Consortium* (W3C), escreveu uma proposta usando conceitos do ENQUIRE (um sistema de hipertexto desenvolvido por si) descrevendo um sistema de gestão de informação mais elaborado para aquilo que viria a ser a *Web* [57].

Em 1990, Berners-Lee e o cientista Robert Cailliau propuseram o uso de hipertexto “para ligar e aceder a informação de diferentes tipos como uma teia de nós na qual o utilizador pode procurar à vontade” [58].

Decidiu-se usar a *web* para partilhar alguns dos mapas obtidos através das análises realizadas pela aplicação GISlimReg criando-se uma página para o efeito. Estes mapas mostram as principais variáveis climáticas para o estudo das alterações climáticas no regadio que foram analisadas neste projecto. As variáveis são: precipitação, temperatura média, temperatura mínima, temperatura máxima, evapotranspiração e *deficit* hídrico.

5.2 Descrição da arquitectura do *WebSIG*

A arquitectura da página é composta por uma base de dados que contém ficheiros KML, um script em *JavaScript*, um ficheiro em *HyperText Markup Language* (HTML) e um ficheiro *Cascade Style Sheet* (CSS). A Figura 5.1 mostra uma esquematização dessa arquitectura.

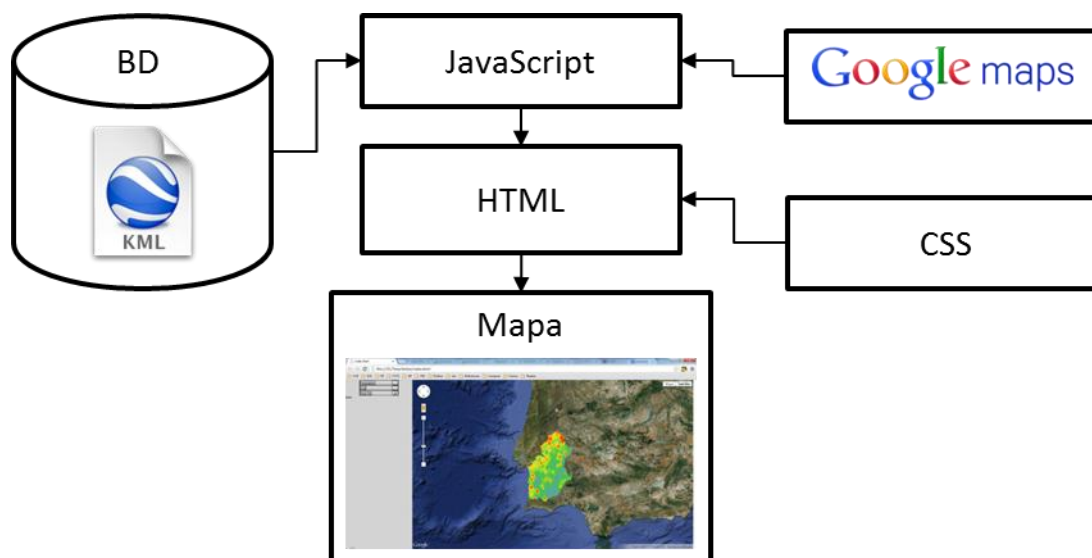


Figura 5.1 - Esquemática da arquitectura do sistema do *WebSIG*.

5.2.1 Base de dados do *WebSIG*

Ficheiros KML/KMZ

A base de dados do *WebSIG* é composta por ficheiros KMZ. Estes ficheiros são superfícies contínuas exportadas pelo ArcGIS para este formato. Os ficheiros KMZ são ficheiros KML comprimidos e que têm a extensão kmz.

O KML é uma notação do *Extensible Markup Language* (XML) para expressar anotações e visualizações geográficas baseadas na internet, em mapas bidimensionais, entre outros. O KML foi desenvolvido para usar com o *Google Earth*, que originalmente foi chamado de *Keyhole Earth Viewer*. O *Google Earth* foi o primeiro programa a ser capaz de visualizar e graficamente editar ficheiros KML. Foi criado pela empresa *Keyhole, Inc*, que mais tarde foi adquirida pela empresa *Google*. Em 2008, o KML tornou-se um padrão internacional da *Open Geospatial Consortium* (OGC) [23][24].

Um ficheiro KML especifica um conjunto de características (marcação de lugares, imagens, polígonos, modelos 3D, descrições textuais, etc.) para disponibilização no *Google Earth*, *Google Maps* e móvel, ou qualquer outro *software* geoespacial que implemente a codificação KML. Cada lugar tem sempre uma longitude e uma latitude. O KML partilha alguma da estrutura gramatical do *Geography Markup Language* (GML) [60]. Na Figura 5.2 apresenta-se um exemplo da estrutura de um ficheiro KML.

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<kml xmlns="http://www.opengis.net/kml/2.2">
  <Placemark>
    <name>Simple placemark</name>
    <description>Attached to the ground. Intelligently places itself
      at the height of the underlying terrain.</description>
    <Point>
      <coordinates>-122.0822035425683,37.42228990140251,0</coordinates>
    </Point>
  </Placemark>
</kml>

```

Figura 5.2 - Exemplo da estruturação de um ficheiro KML [60].

A estrutura de um ficheiro KML é assim composta por:

- Um cabeçalho XML. Esta é a linha 1 de qualquer ficheiro KML. Não podem aparecer espaços ou outro tipo de caracteres antes desta linha;
- Uma declaração de KML. Esta é a linha 2 de qualquer ficheiro KML;
- Um objecto marcador (*Placemark*) que contém os seguintes elementos:
 - Um nome (*name*) que é usado como legenda para o marcador;
 - Uma descrição (*description*) que aparece no “balão” anexado ao marcador;
 - Um ponto (*Point*) que especifica a posição do marcador na superfície da Terra (longitude, latitude e opcionalmente altitude);

Como sistema de referência, o KML usa coordenadas geográficas 3D: longitude, latitude e altitude, por esta ordem, com valores negativos para o oeste, sul e abaixo do nível do mar se os dados de altitude estiverem disponíveis. As componentes longitude e latitude estão definidos pelo WGS84 enquanto a componente vertical está definida pelo *Earth Gravitational Model 1996* (EGM96)¹. Se a altitude for omissa quando se define um ponto então o valor zero é assumido como valor para a altitude.

5.2.2 Google Maps API

O *Google Maps* é uma aplicação e serviço de *web mapping* fornecido pela empresa *Google* que alimenta muitos serviços baseados em mapas, incluindo a página *web* do *Google Maps* (mostrada na Figura 5.3), o *Google Ride Finder*, o *Google Transit*, e mapas embutidos em

¹ EGM96 é um modelo geopotencial da Terra. Este modelo resultou de uma colaboração entre a *National Imagery and Mapping Agency* (NIMA), a *NASA Goddard Space Flight Center* (GSFC) e a *Ohio State University*.

páginas de terceiros via a *Google Maps API*. Oferece mapa de ruas e estradas, um planeador de rotas para viagens a pé, de carro, de bicicleta (ainda em fase beta) ou de transportes públicos e um localizador de pequenos negócios em muitos países.

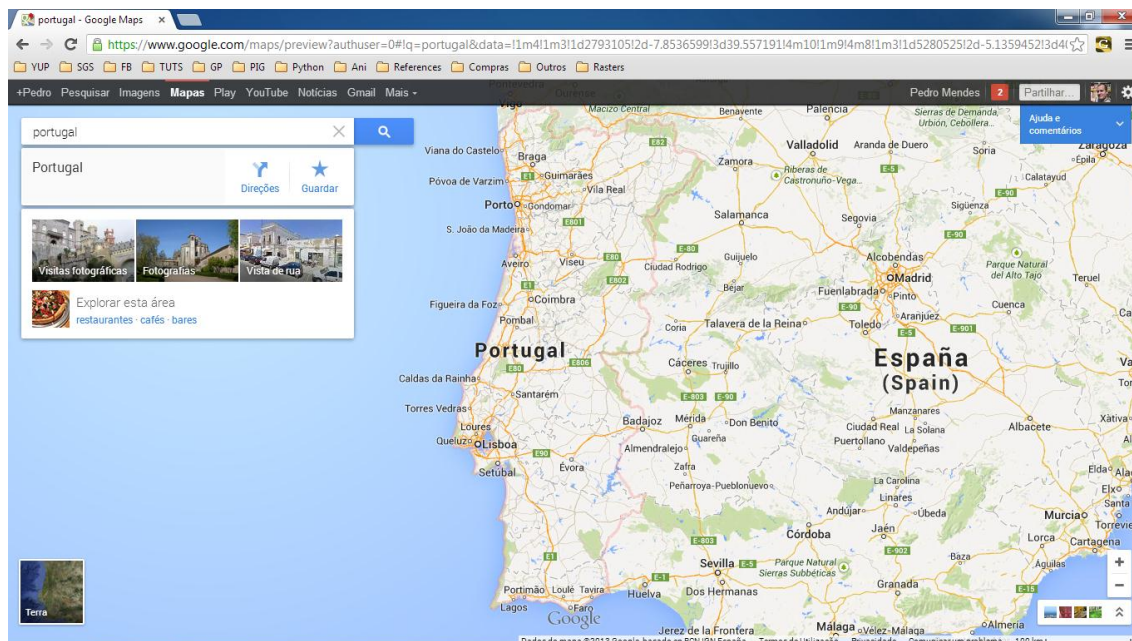


Figura 5.3 - Página do novo *Google Maps*.

Em Junho de 2005, a *Google* lançou a *Google Maps API* para permitir aos desenvolvedores integrar o *Google Maps* nas suas páginas web sendo que é um serviço sem custos.

Uma *Application Programming Interface (API)* é uma especificação de como alguns componentes de *software* devem interagir entre si. Em termos práticos, na maioria dos casos, uma API é uma livreria que normalmente inclui especificações para rotinas, estruturas de dados, classes de objectos e variáveis. Quando usada no contexto do desenvolvimento web, uma API é tipicamente um conjunto de mensagens de pedidos *HyperText Transfer Protocol (HTTP)*, juntamente com uma definição da estrutura da mensagem de resposta que normalmente vem com o formato em XML ou em *JavaScript Object Notation (JSON)*.

Usando a API do *Google Maps*, é possível embeber a página do *Google Maps* numa página externa, no qual dados específicos podem-se sobrepor aos mapas. Inicialmente só existia uma API em *JavaScript* tendo depois surgido uma para *Adobe Flash* (que já foi descontinuada). Este serviço permite a obtenção de imagens de mapas estáticas, serviços web para elaborar geocodificação, gerar direcções de condução e obter perfis de elevação.

O *Google Maps* não é bem uma base de dados, apenas fornece serviços que serão úteis para a construção da página *web* nos modos que se pretendem.

5.2.3 Criação da página *web*

Sendo a base de dados constituída pelos ficheiros KMZ e usando a *Google Maps API* como fornecedor de serviços de *web mapping* construiu-se uma página *web* que efectua um *overlay* de informação dos mapas obtidos através da aplicação GISClmReg aos mapas provenientes do *Google Maps*. Para a construção da página *web* são necessários os seguintes ficheiros: um ficheiro HTML, um ficheiro *JavaScript* e um ficheiro CSS. O ficheiro HTML é a página *web* em si. O ficheiro *JavaScript* é onde se faz a importação dos ficheiros KMZ e onde se sobrepõem esses ficheiros aos mapas provenientes da API do *Google Maps*. O ficheiro CSS é um ficheiro para estilizar a página HTML.

A ligação entre estes ficheiros realiza-se através do ficheiro HTML. É através do HTML que se chama o CSS e o *JavaScript* para estes começarem a funcionar (esta ligação/chamada é explicada mais à frente neste capítulo).

A Figura 5.4 mostra a página *web* inicial ainda sem nenhum mapa sobreposto apenas com o mapa proveniente do *Google Maps*, uma *ComboBox* no canto superior esquerdo que é onde o utilizador poderá escolher qual o mapa que deseja ver carregado e uma caixa por baixo onde surgirá informação sobre o mapa carregado (nome do mapa, valor máximo e valor mínimo).

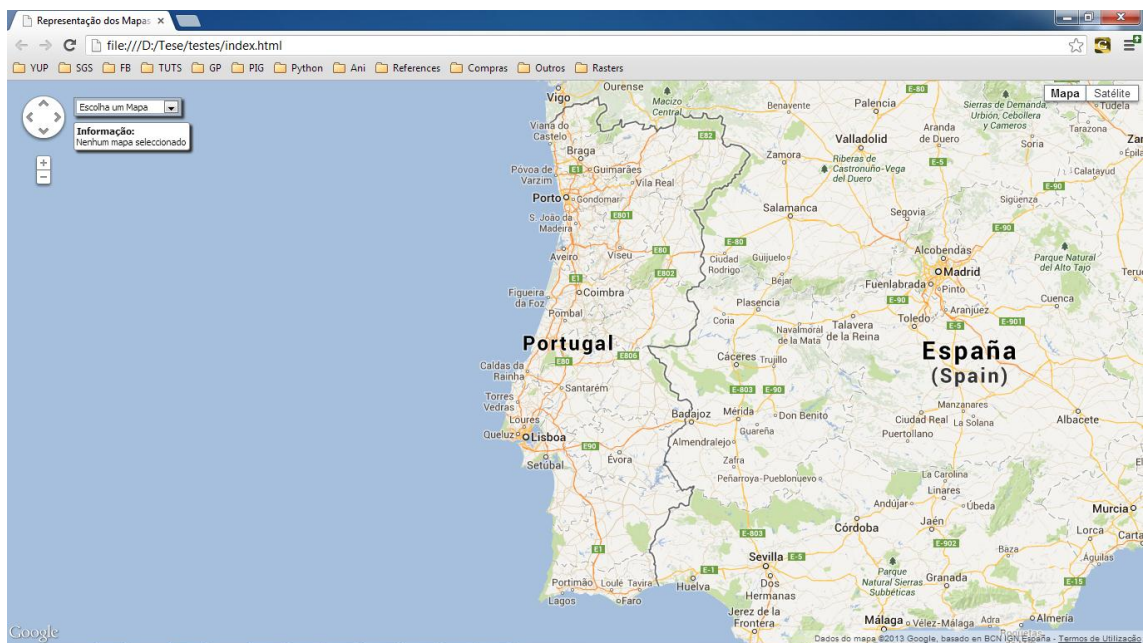


Figura 5.4 - Exemplo da página *web* inicial desenvolvida para este projecto.

HTML

HyperText Markup Language ou simplesmente HTML é a principal linguagem de marcação para criar páginas *web* e outra informação que possa ser disponibilizada num *web browser*.

O HTML é uma aplicação da *Standard Generalized Markup Language* (SGML) que é o sistema para definição de linguagens de marcação. O SGML é um *standard* ISO descendente do *Generalized Markup Language* (GML) desenvolvido pela IBM nos anos 60 [28][29][63].

Uma linguagem de marcação é um sistema moderno para fazer anotações de documentos de um modo que é sintaticamente distinguível do texto. A ideia evoluiu da “marcação” de manuscritos, isto é, das instruções de revisão pelos editores, tradicionalmente escritas com caneta azul nos manuscritos dos escritores. Em modos digitais, a “caneta azul” é substituída por etiquetas que são instruções para o computador saber manipular o texto. Nas linguagens mais comuns de marcação (HTML e XML) estas etiquetas iniciam com o carácter “<” e terminam com o carácter “>”. Tudo o que apareça entre estes caracteres é considerado parte da linguagem de marcação e não como parte do texto que está a ser anotado.

O HTML é escrito na forma de elementos HTML que consistem de etiquetas (e.g. <html>) com uma funcionalidade bastante parecida ao XML. O propósito de um *web browser* é ler documentos HTML e compô-los em páginas *web* visíveis ou audíveis. O *browser* não mostra as etiquetas HTML mas usa-as para interpretar o conteúdo da página.

Os elementos HTML formam os blocos de construção de todas as páginas *web*. O HTML permite que objectos e imagens sejam embebidos e possam ser usados para criar formas de interacção, fornece os meios para criar documentos estruturados denotando uma estrutura semântica para texto como parágrafos, listas, ligações, citações, cabeçalhos, entre outros, e pode embeber também scripts escritos em linguagens como *JavaScript* que pode afectar o comportamento de páginas HTML [64].

Na Figura 5.5 está representado o conteúdo do ficheiro HTML escrito para a página desenvolvida. Um ficheiro HTML é constituído por duas partes: cabeça (*head*) e corpo (*body*).

```

1 <html>
2 <head>
3   <meta charset="utf-8">
4   <title>Representação dos Mapas do GISLIMREG</title>
5   <link rel="stylesheet" type="text/css" href="css/default.css">
6   <script src="http://maps.googleapis.com/maps/api/js?sensor=false"></script>
7   <script type="text/javascript" src="js/default.js"></script>
8   <script type="text/javascript" src="js/vars.js"></script>
9   <script type="text/javascript" src="http://code.jquery.com/jquery-latest.min.js"></script>
10 </head>
11
12 <body onload="initialize()">
13 <div id="main">
14   <div id="map_canvas"></div>
15   <div id="opcoes">
16     <div id="choose">
17       <select id="mapas"></select>
18     </div>
19     <div class="clear"></div>
20     <div id="info">
21       <div id="infotitle"><b>Informação:</b></div>
22       <div id="infoinfo">Nenhum mapa seleccionado</div>
23     </div>
24   </div>
25 </div>
26 </body>
27 </html>

```

Figura 5.5 - Código do ficheiro HTML para a construção da página web para disponibilização dos mapas provenientes do GISLIMREG.

Na cabeça declara-se:

- O tipo de linguagem que se vai utilizar (linha 3 da figura);
- Os metadados da página (e.g. descrição, palavras-chave, autor, etc.). Quando as páginas têm os metadados declarados, são mais fáceis de encontrar pelos motores de busca;
- O título da página (linha 4 da figura);
- As ligações para ficheiros externos, sejam eles ficheiros *JavaScript* ou CSS (linha 5 é a ligação ao ficheiro CSS, a linha 6 é a ligação para usar os serviços do *Google Maps*, a linha 7 é a ligação ao ficheiro *JavaScript* desenvolvido no âmbito deste projecto, a linha 8 é onde está definida a base de dados para a página e a linha 9 é a ligação para uma biblioteca de *JavaScript* que facilita a utilização do mesmo);

No corpo é onde se define a estrutura (ligações, tabelas, listas, etc.) e o conteúdo da página (texto, imagens, etc.).

JavaScript

O *JavaScript* é uma linguagem interpretada de programação de computador. Foi originalmente implementada como parte dos *web browsers* para os scripts do lado do cliente pudessem

interagir com o utilizador, controlar o browser, comunicar assincronamente, e alterar o conteúdo do documento que estava disponibilizado. Mais recentemente tornou-se comum no desenvolvimento de jogos e na criação de aplicações *desktop*.

O *JavaScript* é uma linguagem de *scripting* baseada em protótipos que é dinâmica, fracamente tipada (com poucas variações) e que tem funções de primeira classe. O *JavaScript* copia muitos nomes e muitas convenções de nomenclatura do Java mas as duas linguagens não são relacionadas e têm semânticas diferentes. É uma linguagem multi-paradigma que suporta orientação a objectos, e estilos de programação imperativos e funcionais.

Esta secção do *JavaScript* divide-se em duas partes (cada parte é um ficheiro): um ficheiro que contém o script *JavaScript* e um ficheiro que contém uma estrutura em JSON com os ficheiros KMZ.

O ficheiro “vars.js” é o que contém a estrutura JSON. O JSON é um formato leve para intercâmbio de dados computacionais. É fácil de um humano ler e escrever. A simplicidade do JSON resultou na sua rápida difusão, especialmente quando se tornou uma alternativa ao XML pois torna-se mais fácil desenvolver um analisador de JSON que um de XML [65].

A estrutura consiste em ter, para cada mapa que se pretende publicar na página *web*, o seguinte (e.g. Figura 5.6):

- Um identificador (*shortname*);
- O nome da variável representada no mapa (*name*);
- O *link* para o ficheiro do mapa (*url*);
- O valor máximo da variável para o período representado no mapa (*min*);
- O valor mínimo da variável para o período representado no mapa (*max*);

```
{
  name: 'Deficit H&iacute;drico Anual DMI12',
  shortname: 0,
  url: 'https://dl.dropboxusercontent.com/u/49720290/kmz/defh_dmi12_1_12_10062013164951.kmz',
  max: '1330,3',
  min: '1265,92'
},
{
  name: 'Deficit H&iacute;drico Anual DMI25',
  shortname: 1,
  url: 'https://dl.dropboxusercontent.com/u/49720290/kmz/defh_dmi25_1_12_10062013170241.kmz',
  max: '1324,19',
  min: '1256,68'
},
}
```

Figura 5.6 - Extracto da estrutura criada com os ficheiros KMZ que compõem a base de dados da página *web* criada.

Na linha 12 da Figura 5.5 é onde é chamada a função “initialize”. Ao chamar esta função é quando o *JavaScript* entra em acção através do ficheiro “default.js”, que é mostrado parcialmente na Figura 5.7 com a representação da função.

```

12 function initialize() {
13     startMap();
14     fillDropDowns();
15     docReady();
16 }

```

Figura 5.7 - Função “initialize” presente no ficheiro *JavaScript* desenvolvido no âmbito deste projecto.

É nesta função que se inicia o mapa proveniente da API do *Google Maps* (função “startMap”), preenche-se a caixa de escolha dos mapas com os ficheiros KMZ obtidos do GISclimReg (função “fillDropDowns”) e dá-se início à função “docReady” (Figura 5.8) que é uma função que “fica à escuta” (*listener*) para quando o utilizador mudar a opção na caixa de opções de mapas, recolher essa opção e chamar a função que carrega o ficheiro correspondente à opção.

```

18 function docReady(){
19     $(document).ready(function(){
20         $('#mapas').change(function(){
21             $('#mapas option:selected').each(function(){
22                 if($(this).attr('id') == "none"){
23                     startMap();
24                     $('#infoinfo').html("Nenhum mapa seleccionado");
25                 }
26                 else {
27                     id = $(this).attr('id');
28                     toggleKML(id);
29                     str = kml[id].name;
30                     str += "<br><b>Máximo:</b> " + kml[id].max;
31                     str += "<br><b>Mínimo:</b> " + kml[id].min;
32                     $('#infoinfo').html(str);
33                 }
34             });
35         });
36     });
37 }

```

Figura 5.8 - Função “docReady” presente no ficheiro *JavaScript* desenvolvido no âmbito deste projecto.

Na Figura 5.9 é mostrada a função “startMap” e nesta função é onde se configura os mapas da API do *Google Maps*. Por exemplo: na linha 41 define-se o centro do mapa a apresentar, na linha 42 define-se o *zoom* predefinido, na linha 43 define-se o tipo de mapa (“roadmap” é o mapa de estradas por defeito, “satellite” mostra imagens de satélite do *Google Earth*, “hybrid” mostra uma mistura de vistas normais e de satélite e “terrain” que mostra um mapa físico baseado em informação de terreno) e da linha 44 à 53 define-se o tipo de controlos que se podem fazer com o mapa.

```

39 function startMap(){
40     map = new google.maps.Map(document.getElementById('map_canvas'), {
41         center: new google.maps.LatLng(39.6, -8.5),
42         zoom: 7,
43         mapTypeId: google.maps.MapTypeId.ROADMAP,
44         mapTypeControl: true,
45         scaleControl: false,
46         scaleControlOptions: {
47             position: google.maps.ControlPosition.BOTTOM_RIGHT
48         },
49         zoomControlOptions: {
50             style: google.maps.ZoomControlStyle.SMALL
51         },
52         streetViewControl: false,
53         rotateControl: false
54     });
55 }

```

Figura 5.9 - Função "startMap" presente no ficheiro *JavaScript* desenvolvido no âmbito deste projecto.

A função "toggleKML", representada na Figura 5.10, é a função que troca entre os diversos mapas existentes na base de dados conforme a escolha do utilizador. A função "fillDropDowns" (representada na Figura 5.11) é a função que preenche a caixa de opções dos mapas. A definição do conteúdo desta caixa podia ser feito no ficheiro HTML mas através do *JavaScript* pode ser feita de maneira dinâmica, ou seja, lendo o conteúdo da estrutura JSON vai preenchendo a caixa com todos os mapas definidos na estrutura. Se fosse definido no ficheiro HTML e fosse necessário acrescentar mais algum mapa teria que editar-se o ficheiro HTML e o ficheiro *JavaScript* e assim basta editar a estrutura e acrescentar a informação do novo mapa.

```

57 function toggleKML(id){
58     var layer = new google.maps.KmlLayer(kml[id].url, {
59         preserveViewport: true,
60         supressInfoWindows: true
61     });
62
63     kml[id].obj = layer;
64     kml[id].obj.setMap(map);
65 }

```

Figura 5.10 - Função "toggleKML" presente no ficheiro *JavaScript* desenvolvido no âmbito deste projecto.

```

67 function fillDropDowns(){
68     str = "<option id='none'>Escolha um Mapa</option>";
69     for(i=0; i<kml.length; i++){
70         str += "<option id='" + kml[i].shortname + "'> " + kml[i].name + "</option>";
71     }
72     $('#mapas').append(str);
73 }

```

Figura 5.11 - Função "fillDropDowns" presente no ficheiro *JavaScript* desenvolvido no âmbito deste projecto.

CSS

Cascading Style Sheet ou comumente chamada de CSS é uma linguagem de estilos usada para descrever a semântica da apresentação (o aspecto e a formatação) de um documento escrito numa linguagem de marcação. A sua aplicação mais comum é estilizar as páginas *web* escritas em HTML mas também pode ser aplicada a qualquer tipo de documento XML.

O CSS é concebido principalmente para permitir a separação do conteúdo do documento (escrito em HTML ou numa linguagem similar) da apresentação do documento, incluindo elementos tais como o esboço, as cores e as fontes. Esta separação pode melhorar a acessibilidade ao conteúdo, fornecer uma maior flexibilidade e controlo nas especificações de características de apresentação, permite que várias páginas usem a mesma formatação e reduz a complexidade e repetição no conteúdo estrutural. Também pode ser usada para permitir que a apresentação da página *web* seja diferente conforme o tamanho do ecrã ou dependendo do dispositivo onde esteja a ser visualizada [64].

A Figura 5.12 representa parte do ficheiro CSS desenvolvido. Da linha 17 à linha 21 da figura anterior define-se o estilo da caixa de opções que contém os mapas (por exemplo, na linha 20 define-se a caixa de sombra que se pode observar na Figura 5.4). Na linha 23 da figura inicia-se a definição do estilo da caixa de informação (que fica por baixo da caixa de opções dos mapas) e termina na linha 30. Na linha 24 define-se a distância da caixa de informação ao elemento que se encontra por cima (caixa de opções dos mapas), na linha 28 define-se que a caixa de informação deve ter os cantos redondos e na linha 29 define-se também uma caixa de sombra.

```
1  body {
2      margin: 0;
3      font-family: Tahoma, sans-serif;
4      font-size: 11px;
5  }
6
7  #main {
8      width: 100%;
9      height: 100%;
10 }
11
12 #map_canvas {
13     width: 100%;
14     height: 100%;
15 }
16
17 #choose {
18     border: 1px solid grey;
19     float: left;
20     box-shadow: 3px 3px 3px #333333;
21 }
22
23 #info {
24     margin-top: 7px;
25     padding: 3px;
26     border: 1px solid grey;
27     background-color: white;
28     border-radius: 3px;
29     box-shadow: 3px 3px 3px #333333;
30 }
```

Figura 5.12 - Extracto do ficheiro CSS construído para a página *web*.

5.3 Apresentação da página do WebSIG

Na Figura 5.13 pode-se observar a página *web* final com o mapa da Evapotranspiração anual para o modelo DMI12 carregado como exemplo. Os mapas presentes na *ComboBox* da página *web* (Figura 5.14) são os mapas produzidos pela aplicação GISclimReg ao longo deste trabalho e que se encontram listados na

Tabela 5.1.

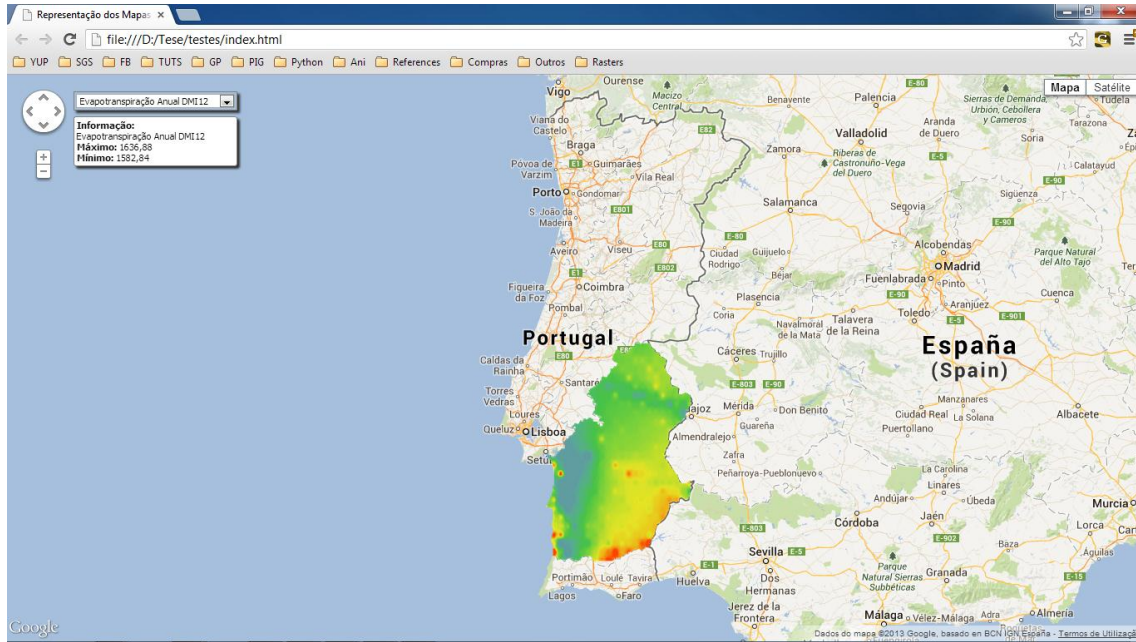


Figura 5.13 - Página web com o mapa da Evapotranspiração Anual para o modelo DMI12.

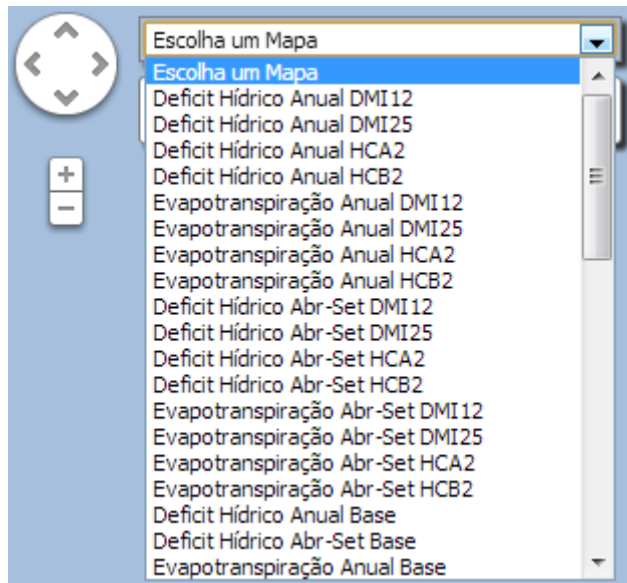


Figura 5.14 - Exemplo da ComboBox presente na página web.

Tabela 5.1 - Tabela com os mapas presentes na página *web* desenvolvida no âmbito deste projecto.

Mapas	Mapas
Evapotranspiração Anual DMI12	Evapotranspiração Semestre Seco DMI12
Evapotranspiração Anual DMI25	Evapotranspiração Semestre Seco DMI25
Evapotranspiração Anual HC A2	Evapotranspiração Semestre Seco HC A2
Evapotranspiração Anual HC B2	Evapotranspiração Semestre Seco HC B2
Evapotranspiração Anual de Base	Evapotranspiração Semestre Seco Base
<i>Deficit</i> Hídrico Anual DMI12	<i>Deficit</i> Hídrico Semestre Seco DMI12
<i>Deficit</i> Hídrico Anual DMI25	<i>Deficit</i> Hídrico Semestre Seco DMI25
<i>Deficit</i> Hídrico Anual HC A2	<i>Deficit</i> Hídrico Semestre Seco HC A2
<i>Deficit</i> Hídrico Anual HC B2	<i>Deficit</i> Hídrico Semestre Seco HC B2
<i>Deficit</i> Hídrico Anual Base	<i>Deficit</i> Hídrico Semestre Seco Base
Temperatura Média Anual Base	Temperatura Média Semestre Seco Base
Temperatura Média Anual DMI12	Anomalia da Temperatura Média Anual DMI12
Temperatura Média Anual DMI25	Anomalia da Temperatura Média Anual DMI25
Temperatura Média Anual HC A2	Anomalia da Temperatura Média Anual HC A2
Temperatura Média Anual HC B2	Anomalia da Temperatura Média Anual HC B2
Precipitação Anual Base	Precipitação Semestre Seco Base
Precipitação Anual DMI12	Anomalia da Precipitação Anual DMI12
Precipitação Anual DMI25	Anomalia da Precipitação Anual DMI25
Precipitação Anual HC A2	Anomalia da Precipitação Anual HC A2
Precipitação Anual HC B2	Anomalia da Precipitação Anual HC B2
Temperatura Máxima Anual Base	Temperatura Mínima Anual Base
Temperatura Máxima Semestre Seco Base	Temperatura Mínima Semestre Seco Base
Temperatura Máxima Anual DMI12	Temperatura Mínima Anual DMI12
Temperatura Máxima Anual DMI25	Temperatura Mínima Anual DMI25
Temperatura Máxima Anual HC A2	Temperatura Mínima Anual HC A2
Temperatura Máxima Anual HC B2	Temperatura Mínima Anual HC B2

6. Conclusões

A realização deste trabalho permitiu pôr em prática conhecimentos de várias áreas científicas tais como os sistemas de informação geográfica, a informática e a agronomia. Este trabalho teve como objectivos a construção de um SIG, que combinasse bases de dados georreferenciadas, com modelos de simulação de modo a permitir realizar estudos regionais dos impactos das alterações climáticas sobre o regadio. Um dos principais requisitos do SIG desenvolvido era o de permitir compilar, gerir, manipular e visualizar, de um modo automatizado, a grande quantidade de dados meteorológicos necessários à realização de um estudo de alterações climáticas.

Assim, foi desenvolvida uma base de dados SIG para gerir e armazenar a grande quantidade de dados climáticos relativos aos cenários de alterações climáticas produzidos por modelos climáticos regionais.

Desenvolveu-se a aplicação GISclimReg em VBA, usando o ArcGIS, que é composta por um módulo de cálculo para análise espacial das variáveis meteorológicas armazenadas na base de dados SIG, e uma interface gráfica com o utilizador que permite a escolha da variável meteorológica entre outros parâmetros. Como resultado final, a aplicação GISclimReg produz uma superfície contínua da variável meteorológica em estudo que será utilizada para criar um mapa dessa variável.

A plataforma SIG de modelos foi desenvolvida também em VBA, através do ArcGIS, e é parte integrante do GISclimReg. Para isso foi construída uma grelha com resolução espacial de 10km que cobre toda a região do Alentejo. A cada ponto desta grelha é atribuída uma “estação meteorológica fictícia”, que contém as séries de dados meteorológicos interpolados espacialmente para esse ponto. Os dados meteorológicos dizem respeito aos dados observados na rede SAGRA (2003-2007) assim como às séries meteorológicas perturbadas para cada ponto (2071-2100). A cada ponto da grelha foi também associado o tipo de solo predominante e as suas principais características. O modelo de cálculo das necessidades hídricas opera sobre esta grelha de 10km calculando séries diárias de ETo e DefH. Após o cálculo destes dois parâmetros a aplicação GISclimReg permite produzir mapas das médias anuais e relativas ao semestre seco para estas variáveis, assim como para as variáveis meteorológicas utilizadas no seu cálculo (temperatura máxima, temperatura mínima e precipitação).

Também se desenvolveu uma página *web* (*WebSIG*) para disponibilizar os mapas dos principais resultados obtidos com a avaliação das necessidades hídricas das culturas para os cenários das alterações climáticas. Existem mapas para as variáveis meteorológicas da precipitação, temperaturas máxima, mínima e média e ainda para o deficit hídrico (DefH) e evapotranspiração de referência (ET_o).

Este trabalho permitiu que no âmbito do projecto no qual se inseriu se pudesse estudar a distribuição espacial das necessidades hídricas das culturas e o impacto das alterações climáticas sobre essas necessidades para a região do Alentejo.

Em suma, considera-se que os objectivos propostos inicialmente foram alcançados com êxito tendo-se desenvolvido uma metodologia que permite processar automaticamente uma grande quantidade de dados relativos a séries climáticas espacialmente distribuídas, correndo um modelo sobre esses dados e especializando os resultados dos modelos. Desta forma permitiu realizar um estudo regional do impacto das alterações climáticas sobre o regadio para a região Alentejo.

Este trabalho foi desenvolvido utilizando o *software* ArcGIS, que necessita de licença para que possa ser utilizado. No futuro a aplicação GIS_{ClimReg} poderia ser migrada para um *software open-source* de modo a que esta aplicação pudesse ser utilizada livremente sem acarretar os custos consideráveis da licença, que poderão em alguns casos constituir uma barreira à sua utilização.

Como desenvolvimentos futuros pode-se referir que o modelo simplificado de cálculo das necessidades hídricas das culturas poderá ser substituído pelo modelo IrrigRotation [66] que permite calcular as necessidades de rega de uma determinada rotação de culturas.

É também possível prever que a actual *framework* conceptual deste SIG possa vir a ser adoptada noutros estudos agronómicos ou ambientais que necessitem de processar uma grande quantidade de séries de dados temporais espacialmente distribuídos.

7. Referências Bibliográficas

- [1] DMI, "Prediction of Regional scenarios and Uncertainties for Defining European Climate change risks and Effects," *DMI*, 2004. [Online]. Available: <http://prudence.dmi.dk/>. [Accessed: 06-Jun-2013].
- [2] M. de C. Neto, P. A. Pinto, and J. P. P. Coelho, *Tecnologias de Informação e Comunicação e a Agricultura*, 1.ª ed. Porto: SPI - Sociedade Portuguesa de Inovação, 2005, pp. 10–11.
- [3] K. C. Laudon and J. P. Laudon, *Management Information Systems: Organization and Technology*, 4th ed. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice-Hall, 1995.
- [4] D. J. Maguire, M. Goodchild, and D. Rhinds, "An overview and definition of GIS," *Geographical Information Systems: Principals and Applications*, pp. 9–20, 1991.
- [5] J. T. Coppock, "Handling Geographic Information," *International journal of geographical information systems*, vol. 1, no. 2, pp. 191–192, Jan. 1987.
- [6] C. Catita, "Slides das Aulas Ciências e Sistemas de Informação Geográfica," FCUL - Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa, 2011.
- [7] K. C. Clarke, "Advances in Geographic Information Systems," *Computers, Environment and Urban Systems*, vol. 10, no. 3–4, pp. 175–184, Jan. 1986.
- [8] A. N. Mouro, "Sistema para Gestão de Informação de Transportes Públicos de uma Cidade," *Universidade de Aveiro*. [Online]. Available: <http://portal.ua.pt/thesaurus/default1.asp?OP2=0&Serie=0&Obra=31&H1=3&H2=3>. [Accessed: 20-Feb-2013].
- [9] M. San-Payo, "Algumas Notas Sobre Sistemas de Informação Geográfica," *Lisboa: M. San-Payo*, 1994.
- [10] LGISC, "How Does GIS work?," *Louisiana Geographic Information Systems Council*. [Online]. Available: <http://lagic.lsu.edu/gisprimer/>. [Accessed: 10-May-2013].
- [11] P. A. Burrough, "Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment," *Oxford: Oxford Science Publications*, 1986.
- [12] R. Eades, D. Overstrom, R. Farmer, M. Chenault, E. Cahill, C. Kopek, Kraenzle, and M. Aquilino, "Spatial Information Clearinghouse," *Mine Action Information Center*, 2004. [Online]. Available: <http://maic.jmu.edu/sic/home.htm>. [Accessed: 25-Feb-2013].
- [13] A. D. Hartkamp, K. De Beurs, A. Stein, and J. W. White, "Interpolation Techniques for Climate Variables." Mexico, p. 16, 1999.
- [14] A. Frank, "Requirements for a Database Management System for a GIS," in *Photogrametric Engineering & Remote Sensing*, 1988, pp. 1557–1564.

- [15] G. Abrantes, "Sistemas de Informação Geográfica - Conceitos," 1998. [Online]. Available: <http://www.isa.utl.pt/dm/sig/sig19992000/SIGconceitos.html>.
- [16] R. Denzer, "Generic integration of environmental decision support systems – state-of-the-art," *Environmental Modelling & Software*, vol. 20, no. 10, pp. 1217–1223, Oct. 2005.
- [17] ASCE, "Task Committee for Sustainable Criteria," in *Sustainability criteria for water resources systems, Division of Water Resources Planning and Management National Conference*, 1998.
- [18] D. Carreira, "Aplicação SIG para a gestão da água em agricultura à escala regional," 1997.
- [19] P. Döll, "Impact of Climate Change and Variability on Irrigation Requirements: A Global Perspective," *Climatic Change*, vol. 54, no. 3, pp. 269–293, Aug. 2002.
- [20] P. S. Fortes, A. E. Platonov, and L. S. Pereira, "GISAREG—A GIS based irrigation scheduling simulation model to support improved water use," *Agricultural Water Management*, vol. 77, no. 1–3, pp. 159–179, Aug. 2005.
- [21] M. Todorovic and P. Steduto, "A GIS for irrigation management," *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, vol. 28, no. 4–5, pp. 163–174, Jan. 2003.
- [22] A. H. El Nahry, R. R. Ali, and A. A. El Baroudy, "An approach for precision farming under pivot irrigation system using remote sensing and GIS techniques," *Agricultural Water Management*, vol. 98, no. 4, pp. 517–531, Feb. 2010.
- [23] T. Raziei and L. S. Pereira, "Spatial variability analysis of reference evapotranspiration in Iran utilizing fine resolution gridded datasets," *Agricultural Water Management*, vol. 126, no. null, pp. 104–118, Aug. 2013.
- [24] M. Todorovic, B. Karic, and L. S. Pereira, "Reference evapotranspiration estimate with limited weather data across a range of Mediterranean climates," *Journal of Hydrology*, vol. 481, no. null, pp. 166–176, Feb. 2013.
- [25] "CLIMWAT 2.0 for CROPWAT," *FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations*, 2013. [Online]. Available: http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_climwat.html. [Accessed: 10-Jul-2013].
- [26] J. A. Rodríguez Díaz, E. K. Weatherhead, J. W. Knox, and E. Camacho, "Climate change impacts on irrigation water requirements in the Guadalquivir river basin in Spain," *Regional Environmental Change*, vol. 7, no. 3, pp. 149–159, May 2007.
- [27] N. Nakicenovic, J. Alcamo, and G. Davis, "Special report on emissions scenarios: a special report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change," 2000.
- [28] T. Hess and J. Knox, "Deriving evapotranspiration datasets for the UK for use in the climate change modelling," *Internal Rep., Cranfield Univ., Silsoe, UK*, 2003.

- [29] R. Ramakrishnan and J. Gehrke, *Database Management Systems*, 3rd ed. McGraw-Hill, 2003.
- [30] S. de J. M. Mourato, “Modelação do impacte das alterações climáticas e do uso do solo nas bacias hidrográficas do Alentejo,” Universidade de Évora, 2009.
- [31] G. Lenderink, A. Buishand, and W. van Deursen, “Estimates of future discharges of the river Rhine using two scenario methodologies: direct versus delta approach,” *Hydrology and Earth System Sciences*, vol. 11, no. 3, pp. 1145–1159, May 2007.
- [32] L. P. Graham, J. Andréasson, and B. Carlsson, “Assessing climate change impacts on hydrology from an ensemble of regional climate models, model scales and linking methods – a case study on the Lule River basin,” *Climatic Change*, vol. 81, no. S1, pp. 293–307, Mar. 2007.
- [33] J. Rolim, “Metodologias para a avaliação dos impactes das mudanças climáticas na agricultura de regadio e nos sistemas de rega,” Instituto Superior de Agronomia - Universidade Técnica de Lisboa, 2013.
- [34] ESRI, “Kriging,” *ESRI*, 2008. [Online]. Available: <http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=Kriging>. [Accessed: 20-Jul-2013].
- [35] M. Anane, L. Bouziri, A. Limam, and S. Jellali, “Ranking suitable sites for irrigation with reclaimed water in the Nabeul-Hammamet region (Tunisia) using GIS and AHP-multicriteria decision analysis,” *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 65, no. null, pp. 36–46, Aug. 2012.
- [36] J. B. Harcum and J. C. Loftis, “Spatial interpolation of Penman evapotranspiration,” *American Society of Agricultural Engineers*, vol. 30(1), pp. 129–136, 1987.
- [37] M. G. Mardikis, D. P. Kalivas, and V. J. Kollias, “Comparison of Interpolation Methods for the Prediction of Reference Evapotranspiration—An Application in Greece,” *Water Resources Management*, vol. 19, no. 3, pp. 251–278, Jun. 2005.
- [38] L. Spadavecchia and M. Williams, “Can spatio-temporal geostatistical methods improve high resolution regionalisation of meteorological variables?,” *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 149, no. 6–7, pp. 1105–1117, Jun. 2009.
- [39] J. Rolim, J. Catalão, and J. Teixeira, “The Influence of Different Methods Of Interpolating Spatial Meteorological Data On Calculated Irrigation Requirements,” *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 2011. [Online]. Available: <http://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=40625&t=2&redir=&redirType=>.
- [40] E. Camargo, S. Fucks, and G. Câmara, “Análise espacial de superfícies,” in *Análise Espacial de Dados Geográficos*, Brasília., Brasil: EMBRAPA, 2004.
- [41] A. Soares, *Geoestatística para as Ciências da Terra e do Ambiente*, 2nd ed. Lisboa: IST Press, 2006, p. 232.

- [42] “Common Ellipsoid Parameters,” *Geoscience Australia*, 2013. [Online]. Available: <http://www.ga.gov.au/earth-monitoring/geodesy/geodetic-datums/historical-datums-of-australia/common-ellipsoid-parameters.html>. [Accessed: 20-Jul-2013].
- [43] IGP, “Carta Administrativa Oficial de Portugal,” *Instituto Geográfico Português*, 2012. [Online]. Available: http://www.igeo.pt/produtos/cadastro/caop/caop_vigor.htm. [Accessed: 26-Apr-2013].
- [44] J. Rolim, J. Teixeira, J. Catalão, and S. Shahidian, “Evaluation of the Climatic Changes Impacts on Irrigated Agriculture in the Alentejo region, Portugal,” p. 11.
- [45] COTR, “COTR: O que é?,” *COTR*, 2013. [Online]. Available: www.cotr.pt. [Accessed: 13-Jun-2013].
- [46] “Cartas de Solos e de Capacidade de Uso do Solo,” *Direção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural*, 1999. [Online]. Available: <http://www.dgadr.mamaot.pt/cartografia/cartas-solos-cap-uso-analogico>. [Accessed: 15-May-2013].
- [47] IGP, “Transformação de Molodensky,” *Instituto Geográfico Português*, 2008. [Online]. Available: http://www.igeo.pt/produtos/Geodesia/inf_tecnica/parametros_transformacao/formulario_Molodensky.htm. [Accessed: 23-Apr-2013].
- [48] A. Machado, “A Água e a Biosfera: A Evapotranspiração,” *Revista Indústria da Água*, pp. 21–30, 1998.
- [49] R. G. Allen, L. S. Pereira, D. Raes, and M. Smith, “Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements,” *FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations*, 1998. [Online]. Available: <http://www.fao.org/docrep/x0490e/x0490e00.htm#Contents>. [Accessed: 18-Jun-2013].
- [50] L. S. Pereira, “Necessidades de Água das Culturas: Uso de Modelos,” Lisboa.
- [51] L. S. Pereira, *Necessidades de água e métodos de rega*. Mem Martins, Portugal: Publicações Europa-América, 2004, p. 312.
- [52] J. Teixeira, S. Shahidian, and J. Rolim, “Selection of a Simplified Method to Compute Evapotranspiration for Climatic Input on an Autonomous Controller for Landscape Irrigation,” in *Proc. of the 4th IASME/WSEAS Int. Conf. on Energy, Environment, Ecosystems and Sustainable Development*, 2008, pp. 380–385.
- [53] J. Teixeira, S. Shahidian, and J. Rolim, “Regional analysis and calibration for the South of Portugal of a simple evapotranspiration model for use in an autonomous landscape irrigation controller,” Lisboa, 2008.
- [54] S. Shahidian, R. P. Serralheiro, J. Serrano, and J. L. Teixeira, “Parametric calibration of the Hargreaves-Samani equation for use at new locations,” *Hydrological Processes*, vol. 27, no. 4, pp. 605–616, Feb. 2012.

- [55] J. Wright, "Irrigation Water Management Considerations for Sandy Soils in Minnesota," *College of Agriculture, Food, and Environmental Sciences*. [Online]. Available: <http://www.extension.umn.edu/distribution/cropsystems/DC3875.html#contents>. [Accessed: 27-Jun-2013].
- [56] M. R. Fernando, "Balanço hídrico do solo," Instituto Superior de Agronomia - Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 1998.
- [57] T. Berners-Lee, "Information Management: A Proposal," *CERN*, 1989. [Online]. Available: <http://www.w3.org/History/1989/proposal.html>. [Accessed: 03-Jun-2013].
- [58] T. Berners-Lee and R. Cailliau, "WorldWideWeb: Proposal for a HyperText Project," *CERN*, 1990. [Online]. Available: <http://www.w3.org/Proposal.html>. [Accessed: 03-Jun-2013].
- [59] OGC, "OGC Approves KML as Open Standard," *OGC*, 2008. [Online]. Available: <http://www.opengeospatial.org/pressroom/pressreleases/857>. [Accessed: 04-Jun-2013].
- [60] Google, "KML Tutorial," *Google Developers*, 2012. [Online]. Available: https://developers.google.com/kml/documentation/kml_tut. [Accessed: 04-Jun-2013].
- [61] T. Berners-Lee, "SGML," *CERN*. [Online]. Available: <http://info.cern.ch/hypertext/WWW/MarkUp/SGML.html>. [Accessed: 17-Jun-2013].
- [62] W3C, "On SGML and HTML," *W3C*. [Online]. Available: <http://www.w3.org/TR/REC-html40/intro/sgmltut.html>. [Accessed: 17-Jun-2013].
- [63] C. F. Goldfarb, "The Roots of SGML," 1996. [Online]. Available: <http://www.sgmlsource.com/history/roots.htm>. [Accessed: 17-Jun-2013].
- [64] W3C, "HTML & CSS," *W3C*, 2013. [Online]. Available: <http://www.w3.org/standards/webdesign/htmlcss#whatcss>. [Accessed: 06-Jun-2013].
- [65] "Introducing JSON." [Online]. Available: <http://www.json.org/>. [Accessed: 07-Jun-2013].
- [66] J. Rolim and J. Teixeira, "IrrigRotation, a time continuous soil water balance model," *WSEAS Transactions on Environment and Development*, vol. 4, no. 7, p. 11, 2008.

A. Anexos

Anexo I. Parâmetros seleccionados na interface da aplicação GISClmReg e respectivo mapa

GISClmReg

Consulta de Dados | Balanço Hídrico | WebSIG

Que tipo de consulta pretende efectuar?

Sazonal
 Com Parâmetros

Variável

Escolha a Variável a utilizar:
precip

Modelo

Escolha qual o modelo:
Anom_DMI12_Precip

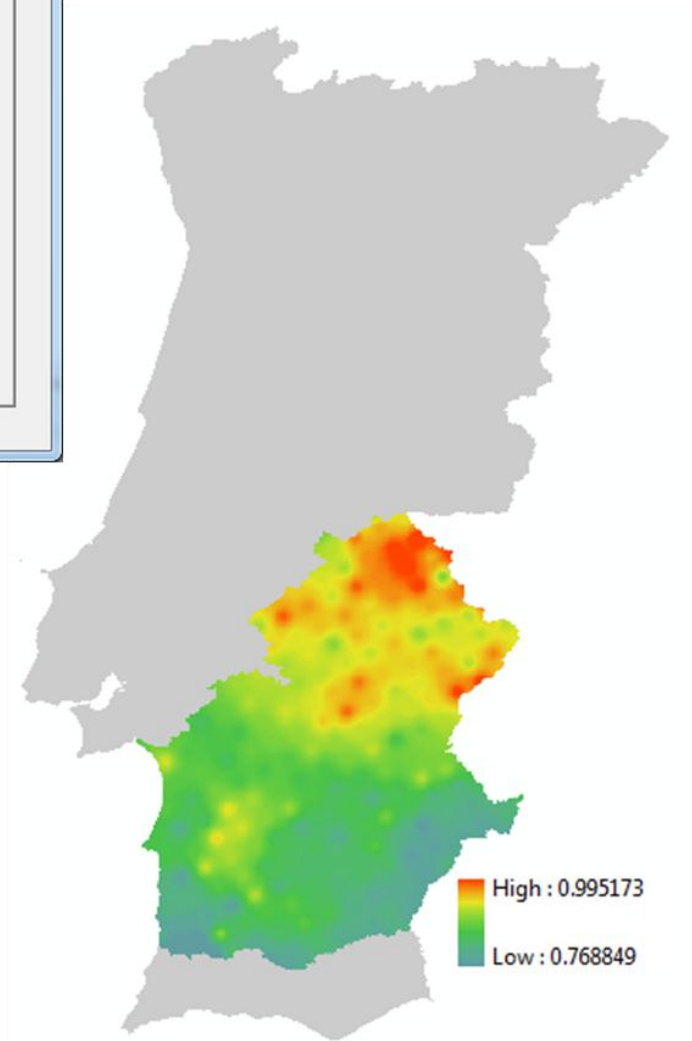
Sazonal

Trimestral Semestral

Trimestral

1º Trimestre (Dez - Fev)
 2º Trimestre (Mar - Mai)
 3º Trimestre (Jun - Ago)
 4º Trimestre (Set - Nov)

Iniciar Cancelar



Anexo II. Parâmetros da Transformação de Molodensky

$$\varphi_n = \varphi + \frac{-\Delta X \sin \varphi \cos \lambda - \Delta Y \sin \varphi \sin \lambda + \Delta Z \cos \varphi + \Delta a \frac{e^2 R_N \sin \varphi \cos \varphi}{a} + \Delta f \sin \varphi \cos \varphi \left(\frac{a}{b} R_M + \frac{b}{a} R_N \right)}{R_M + h} \quad (3)$$

$$\lambda_n = \lambda + \frac{-\Delta X \sin \lambda + \Delta Y \cos \lambda}{(R_N + h) \cos \varphi} \quad (4)$$

$$h_n = h + \Delta X \cos \varphi \cos \lambda + \Delta Y \cos \varphi \sin \lambda + \Delta Z \sin \varphi - \Delta a \left(\frac{a}{R_N} \right) + \Delta f \left(\frac{b}{a} R_N \sin \varphi^2 \right) \quad (5)$$

Onde:

- $\varphi_n, \lambda_n, h_n$ - Latitude, longitude (radianos) e altitude elipsoidal (metros) a obter
- φ, λ, h - Latitude, longitude (radianos) e altitude elipsoidal (metros) original
- $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ - Componentes do vector que une os centros dos dois elipsóides
- a, b - Semieixo maior e semieixo menor do elipsóide de origem
- e, f - Primeira excentricidade e achatamento do elipsóide de origem
- $\Delta a, \Delta f$ - Diferença entre os semieixos maiores e achatamentos dos dois elipsóides
- R_N - Raio de curvatura do primeiro vertical (Grande Normal)
- R_M - Raio de curvatura do meridiano

E onde:

$$h = N + H \text{ em que, } N \text{ é a ondulação do geóide e } H \text{ a altitude ortométrica} \quad (6)$$

$$\frac{b}{a} = 1 - f \quad (7)$$

$$e^2 = 2f - f^2 \quad (8)$$

$$R_N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi}} \quad (9)$$

$$R_M = \frac{a(1 - e^2)}{\left(\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi} \right)^3} \quad (10)$$

Anexo III. Principais mapas produzidos pelo modelo de cálculo das necessidades hídricas das culturas para os cenários de alteração climática

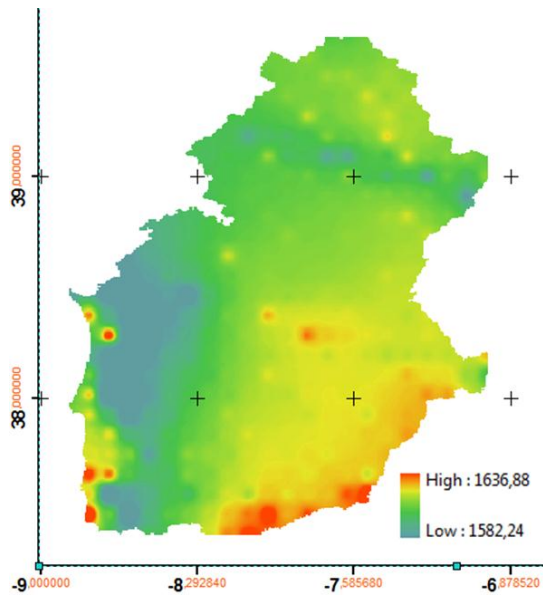


Figura A.1 - Evapotranspiração de Referência anual para o modelo climático DMI de 12km (mm/ano).

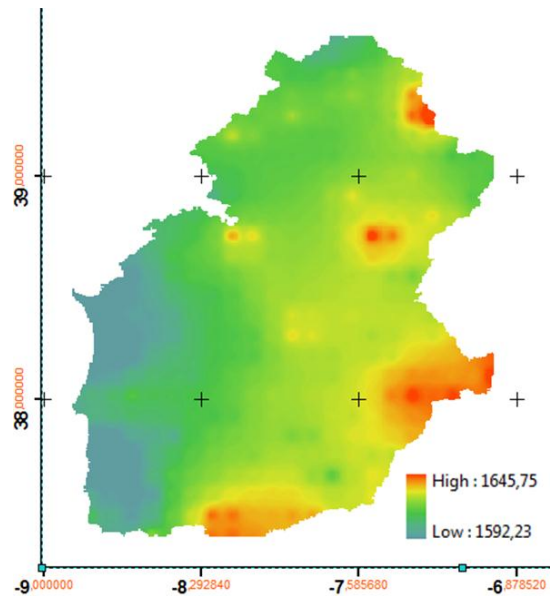


Figura A.2 - Evapotranspiração de Referência anual para o modelo climático DMI de 25km (mm/ano).

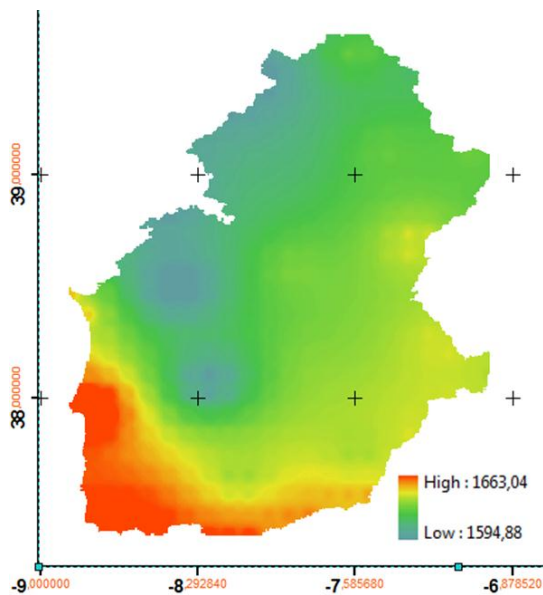


Figura A.3 - Evapotranspiração de Referência anual para o modelo climático HCA2 (mm/ano).

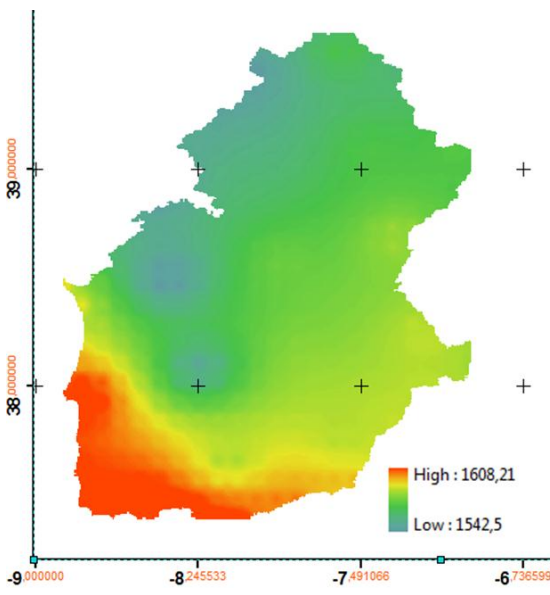


Figura A.4 - Evapotranspiração de Referência anual para o modelo climático HCB2 (mm/ano).

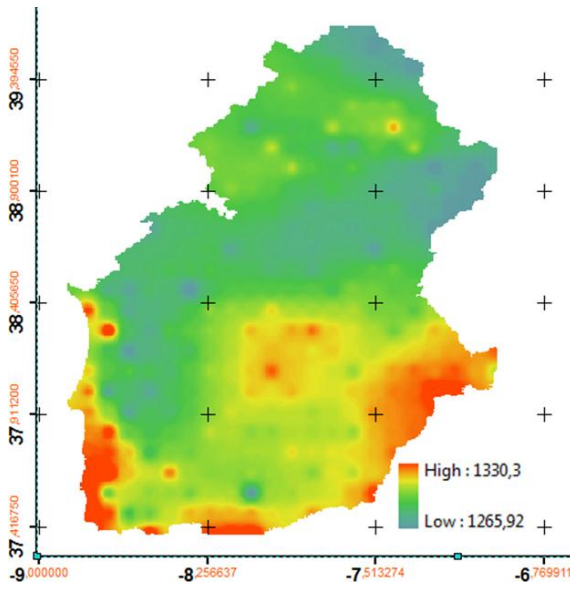


Figura A.5 – Deficit Hídrico Anual para o modelo climático DMI de 12km (mm/ano).

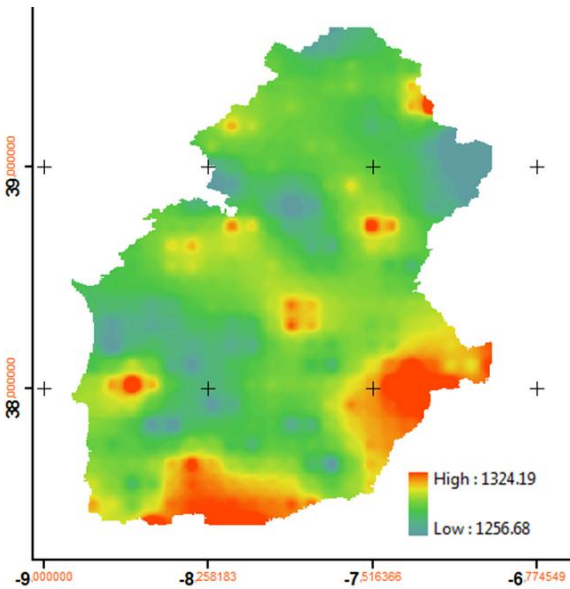


Figura A.6 - Deficit Hídrico Anual para o modelo climático DMI de 25km (mm/ano).

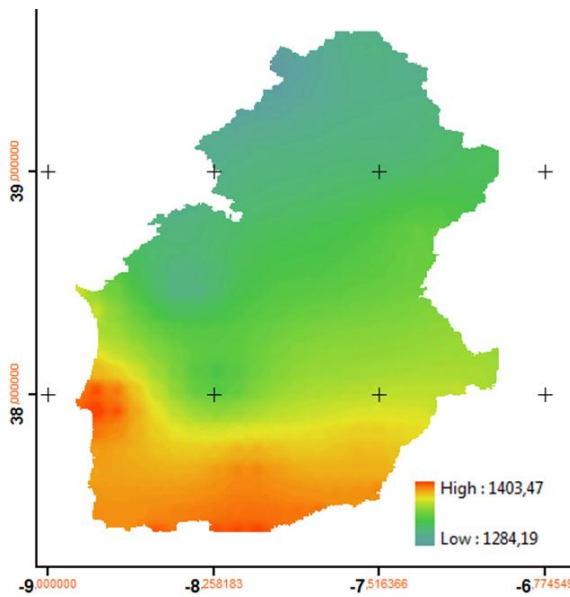


Figura A.7 - Deficit Hídrico anual para o modelo climático HCA2 (mm/ano).

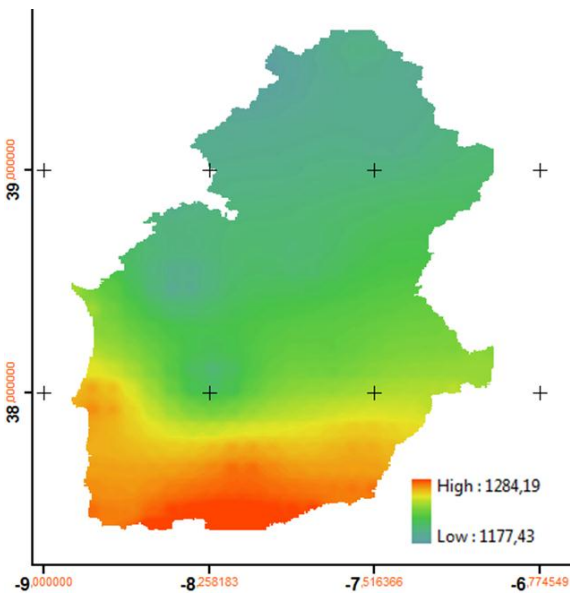


Figura A.8 - Deficit Hídrico anual para o modelo climático HCB2 (mm/ano).

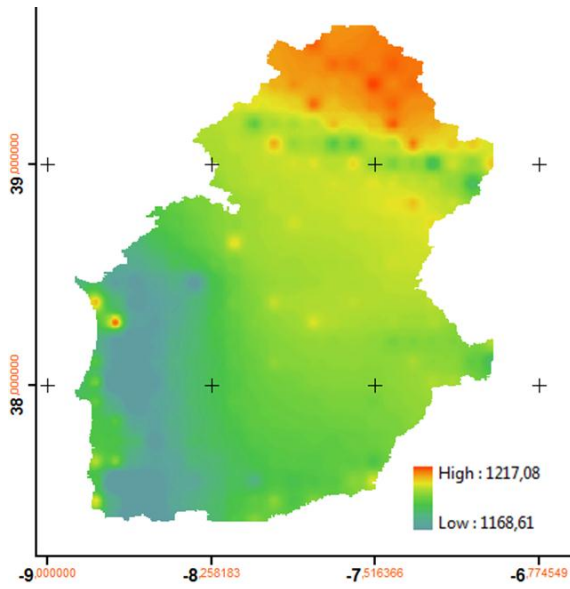


Figura A.9 - Evapotranspiração de Referência para o semestre seco (Abril - Setembro) para o modelo DMI de 12km (mm/ano).

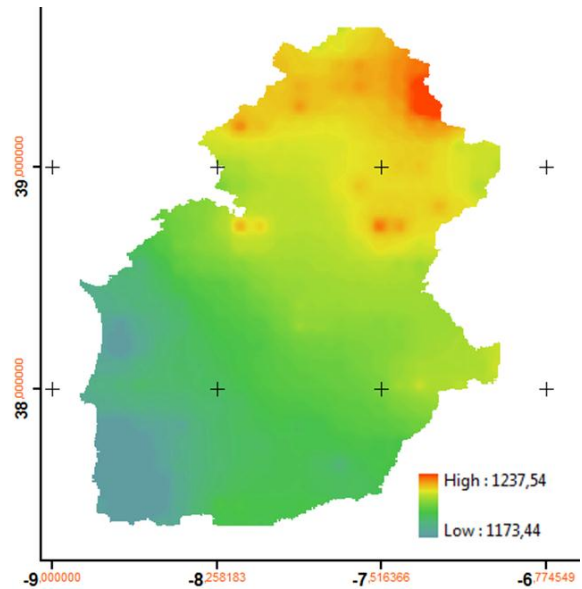


Figura A.10 - Evapotranspiração de Referência para o semestre seco (Abril - Setembro) para o modelo DMI de 25km (mm/ano).

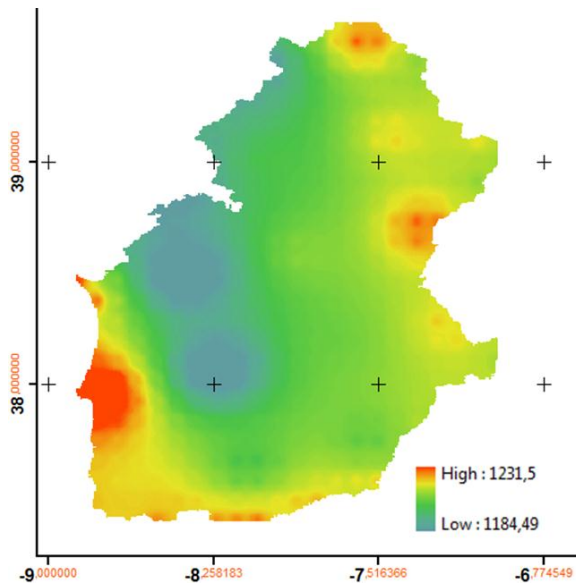


Figura A.11 - Evapotranspiração de Referência para o semestre seco (Abril - Setembro) para o modelo HCA2 (mm/ano).

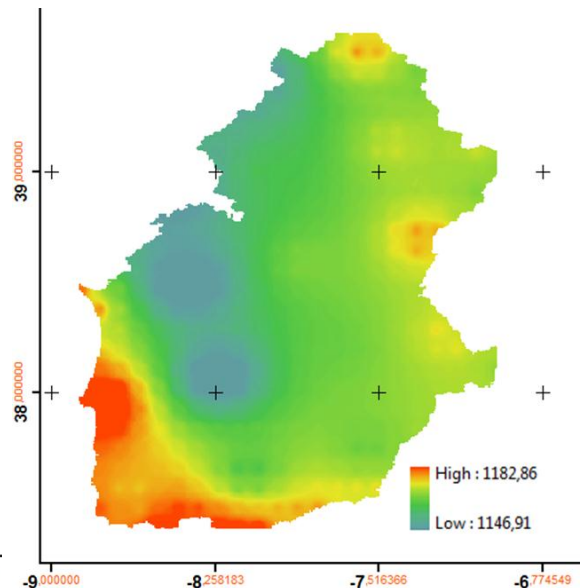


Figura A.12 - Evapotranspiração de Referência para o semestre seco (Abril - Setembro) para o modelo HCB2 (mm/ano).

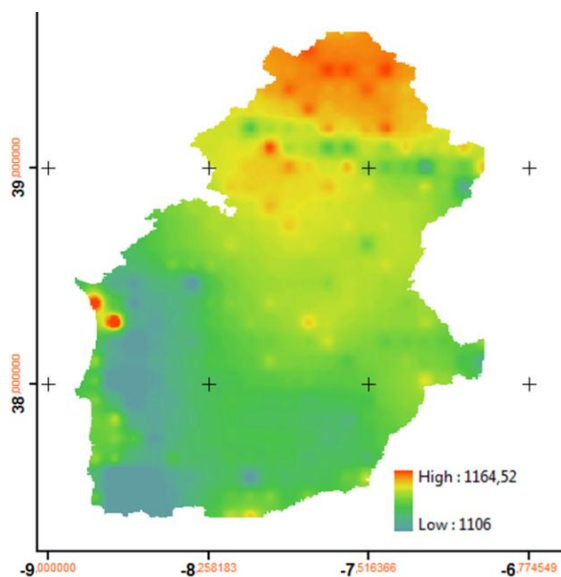


Figura A.13 - Deficit Hídrico para o semestre seco (Abril - Setembro) para o modelo DMI de 12km (mm/ano).

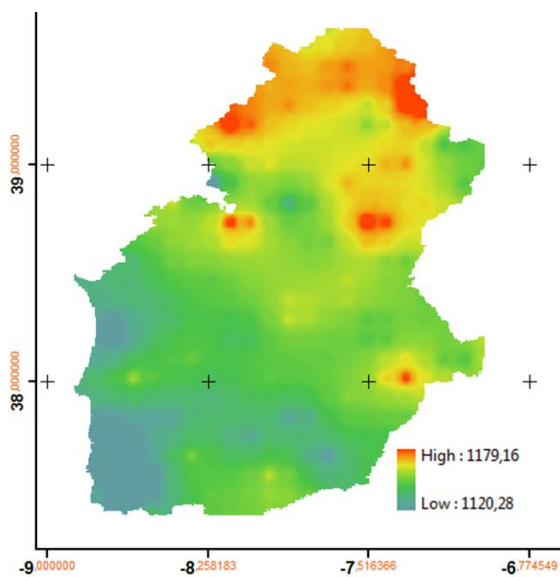


Figura A.14 - Deficit Hídrico para o semestre seco (Abril - Setembro) para o modelo DMI de 25km (mm/ano).

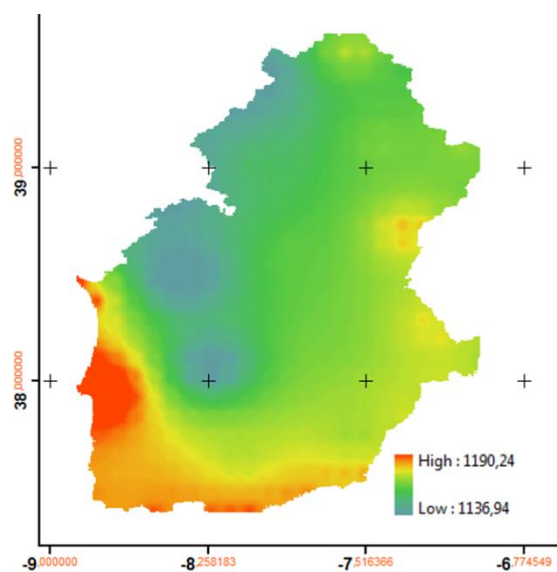


Figura A.15 - Deficit Hídrico para o semestre seco (Abril - Setembro) para o modelo HCA2 (mm/ano).

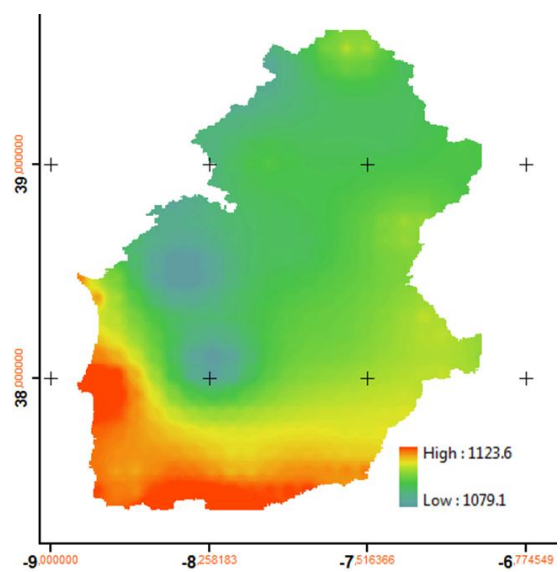


Figura A.16 - Deficit Hídrico para o semestre seco (Abril - Setembro) para o modelo HCB2 (mm/ano).

Anexo IV. Mapas das principais variáveis climáticas para os cenários de alteração climática

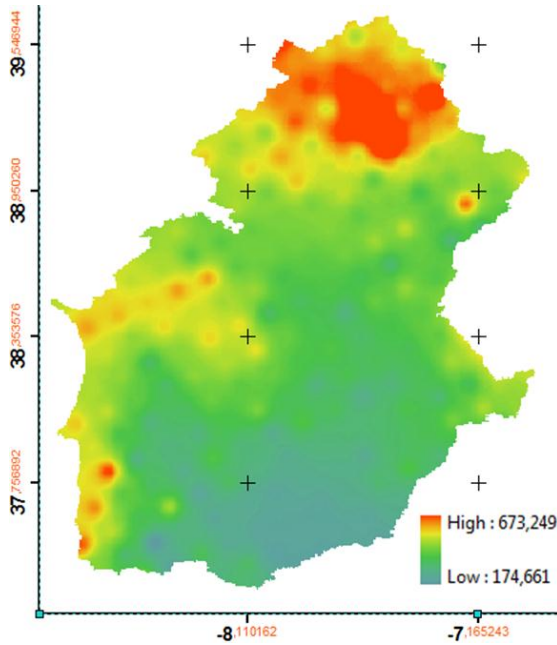


Figura A.17 - Precipitação média anual para o modelo DMI de 12km (mm/ano).

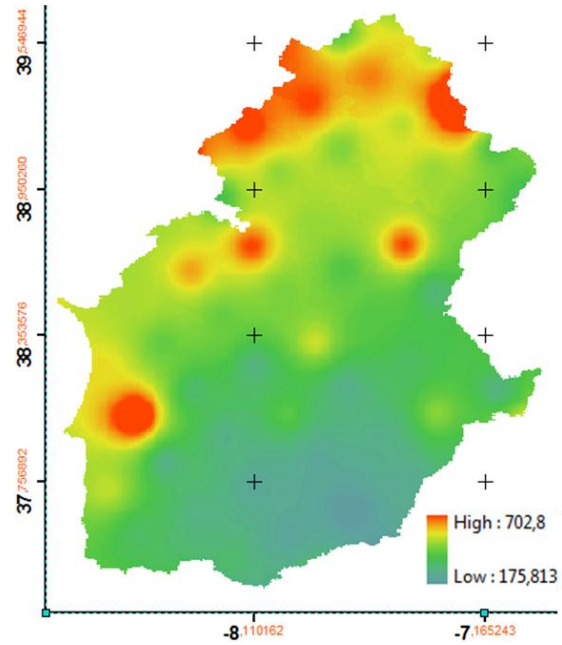


Figura A.18 - Precipitação média anual para o modelo DMI de 25km (mm/ano).

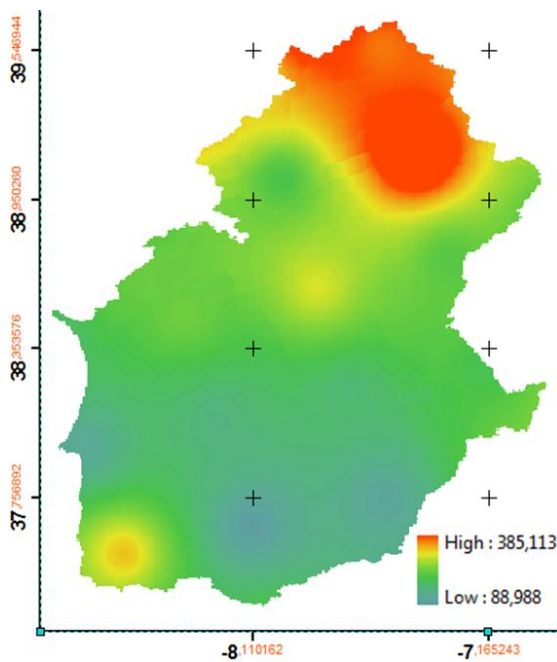


Figura A.19 - Precipitação média anual para o modelo HCA2 (mm/ano).

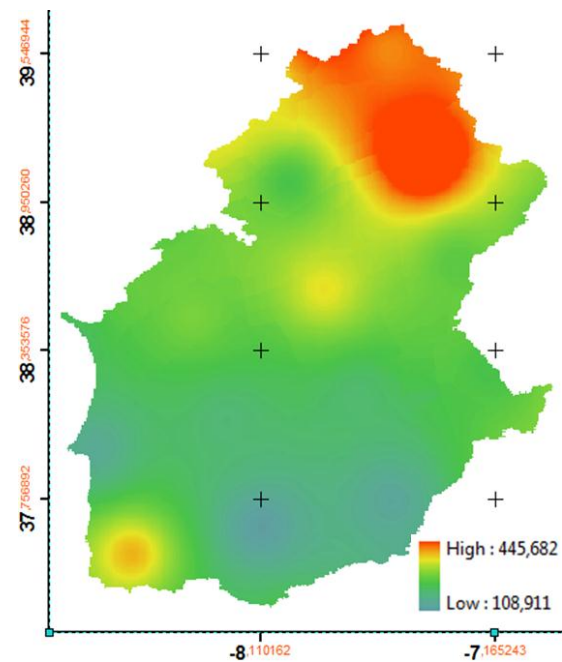


Figura A.20 - Precipitação média anual para o modelo HCB2 (mm/ano).

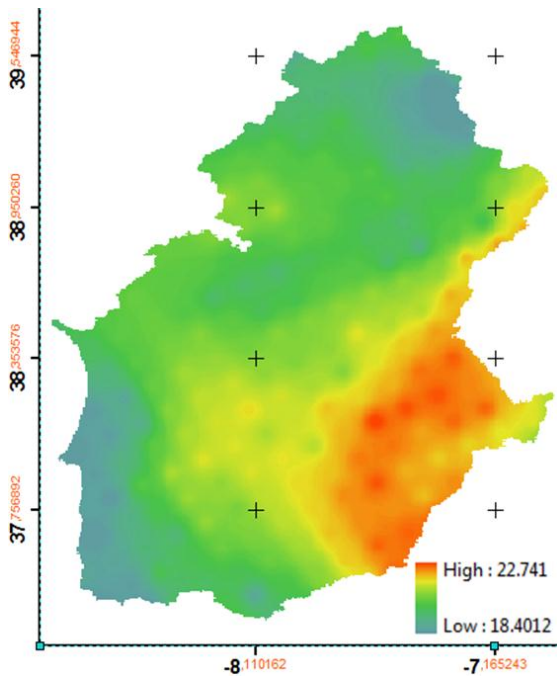


Figura A.21 - Temperatura Média Anual para o modelo DMI de 12km (°C).

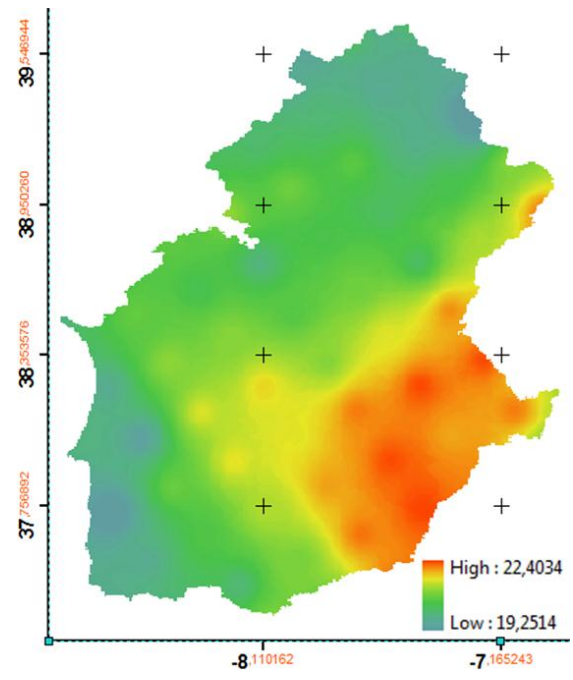


Figura A.22 - Temperatura Média Anual para o modelo DMI de 25km (°C).

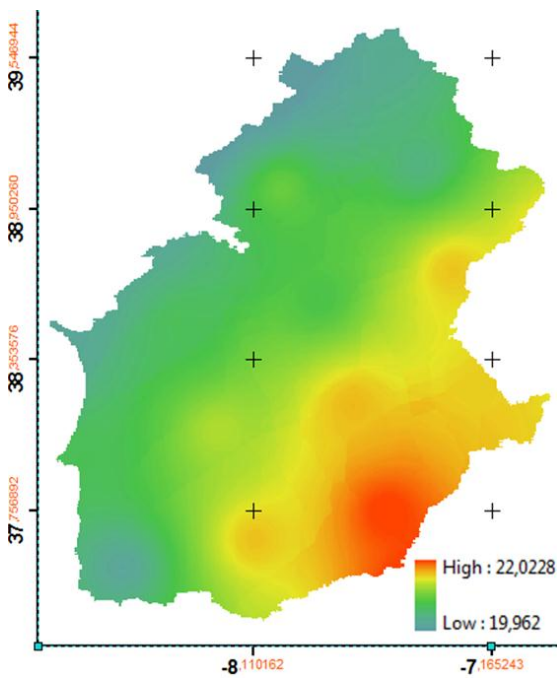


Figura A.23 - Temperatura Média Anual para o modelo HCA2 (°C).

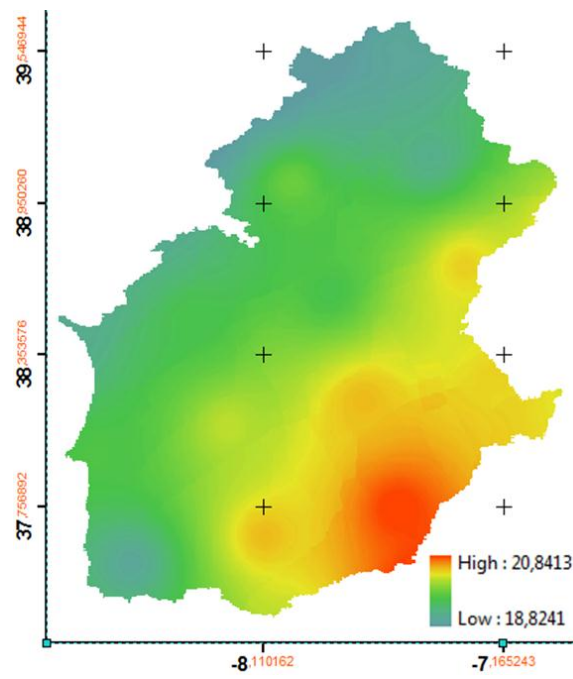


Figura A.24 - Temperatura Média Anual para o modelo HCB2 (°C).

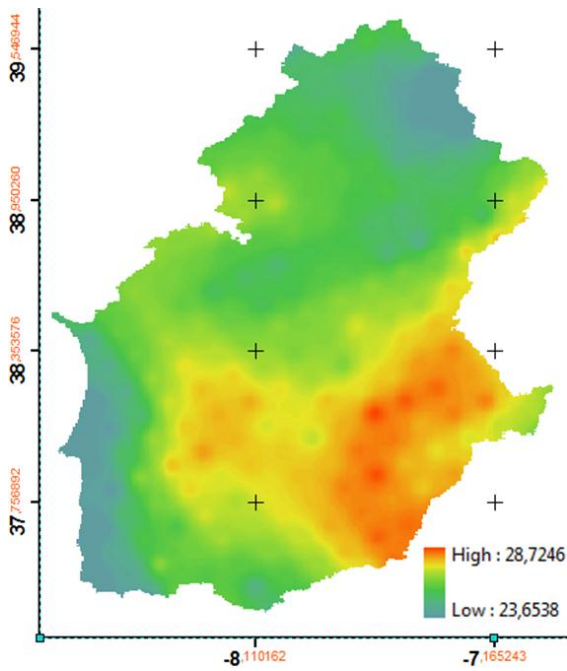


Figura A.25 - Temperatura Máxima Anual para o modelo DMI de 12km (°C).

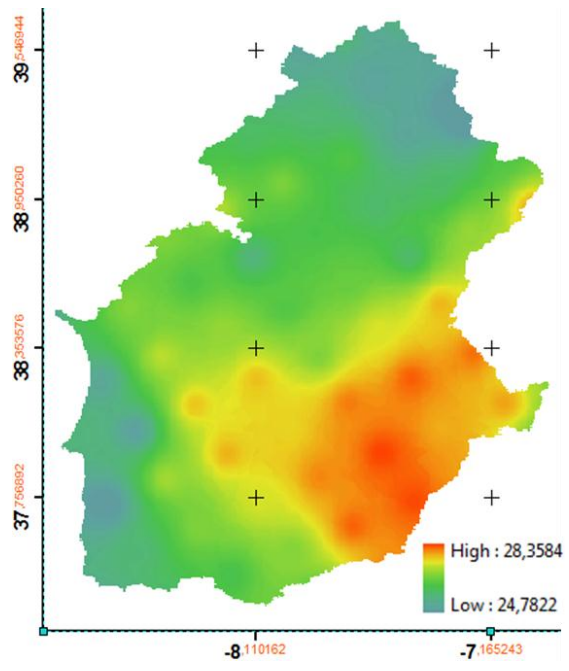


Figura A.26 - Temperatura Máxima Anual para o modelo DMI de 25km (°C).

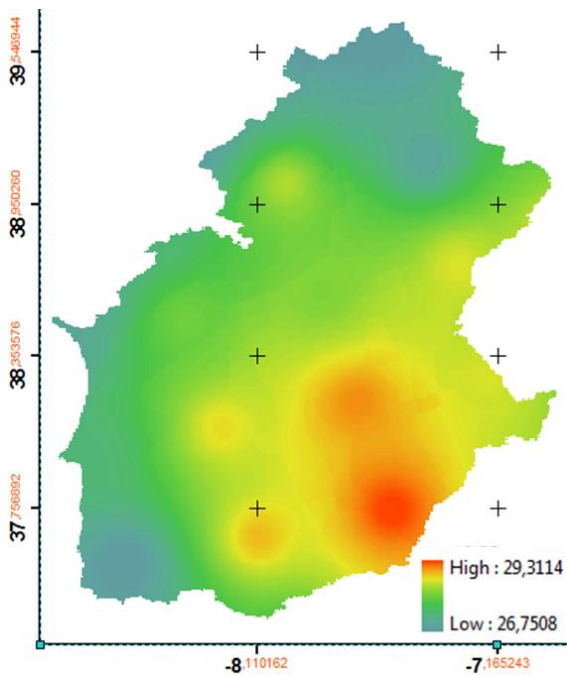


Figura A.27 - Temperatura Máxima Anual para o modelo HCA2 (°C).

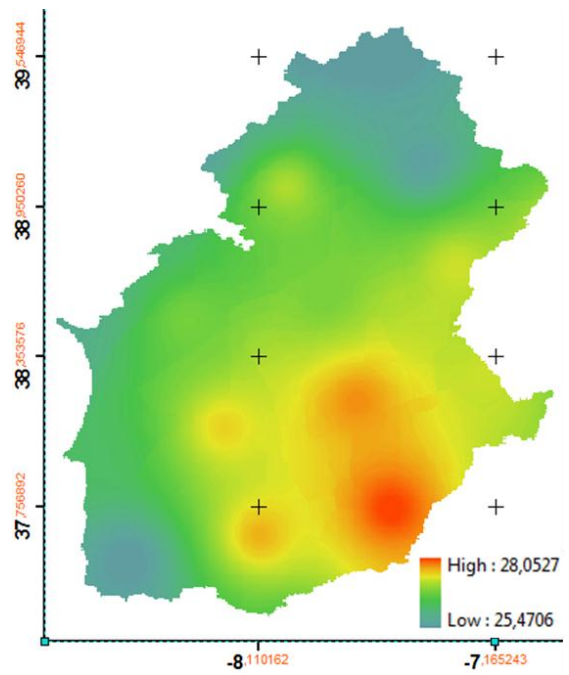


Figura A.28 - Temperatura Máxima Anual para o modelo HCB2 (°C).

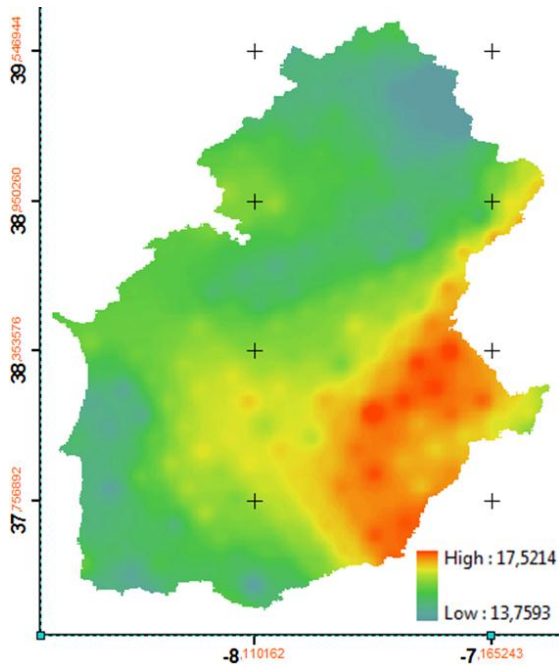


Figura A.29 - Temperatura Mínima Anual para o modelo DMI de 12km (°C).

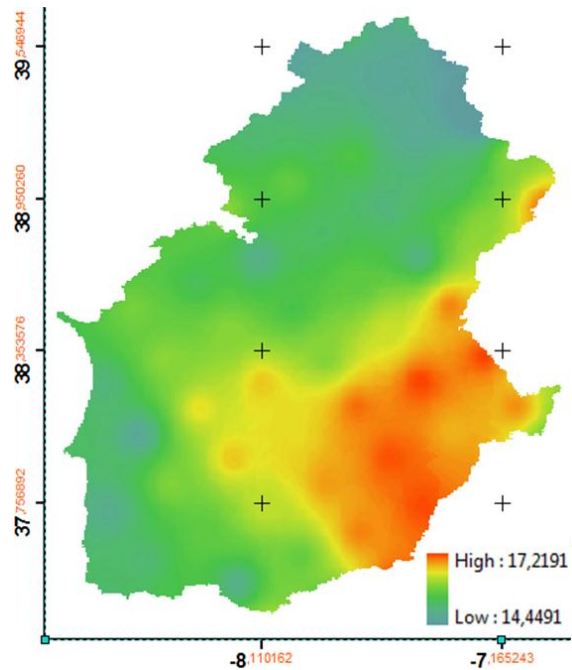


Figura A.30 - Temperatura Mínima Anual para o modelo DMI de 25km (°C).

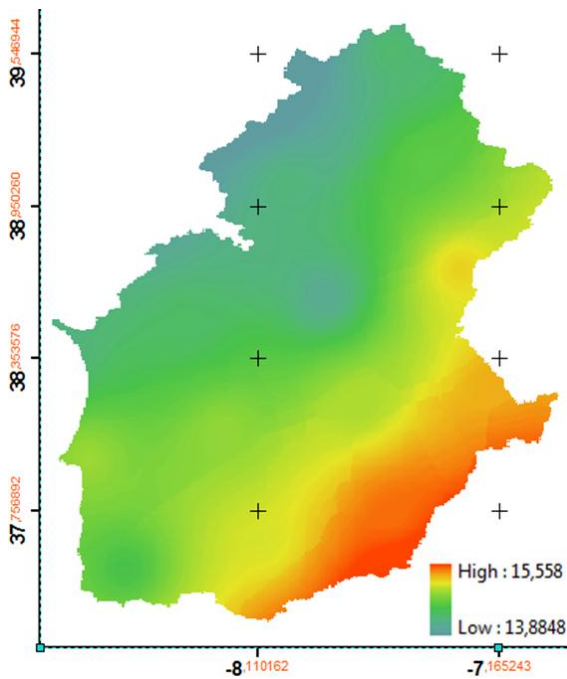


Figura A.31 - Temperatura Mínima Anual para o modelo HCA2 (°C).

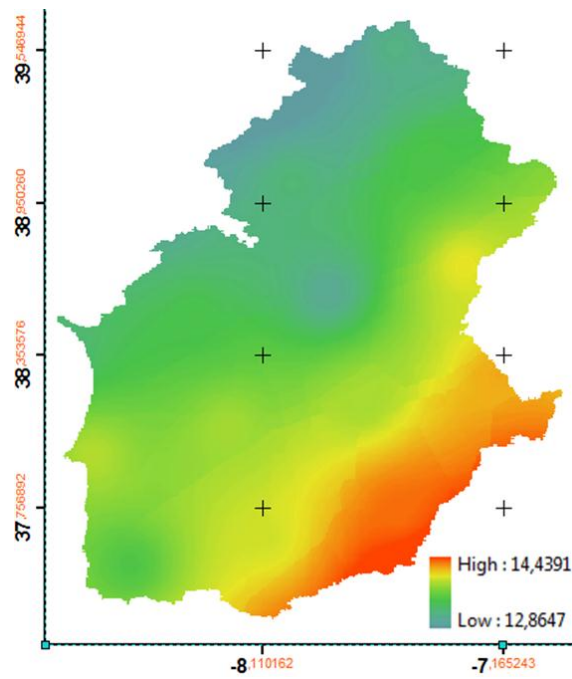


Figura A.32 - Temperatura Mínima Anual para o modelo HCB2 (°C).

Anexo V. Principais mapas das anomalias climáticas

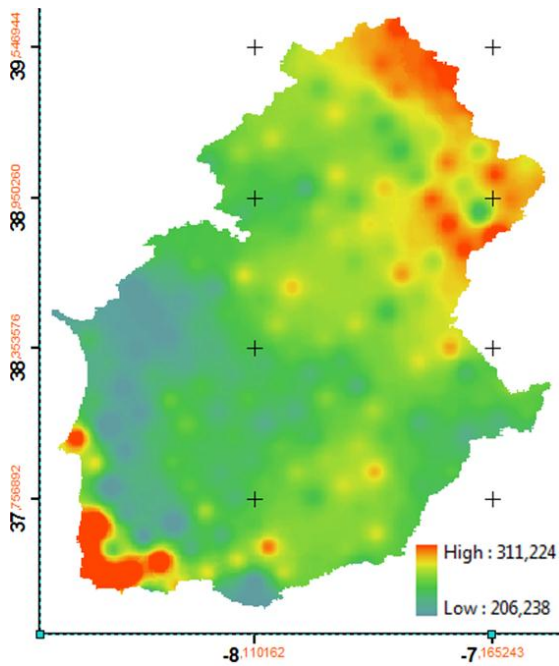


Figura A.33 - Anomalia da precipitação média anual para o modelo DMI de 12km.

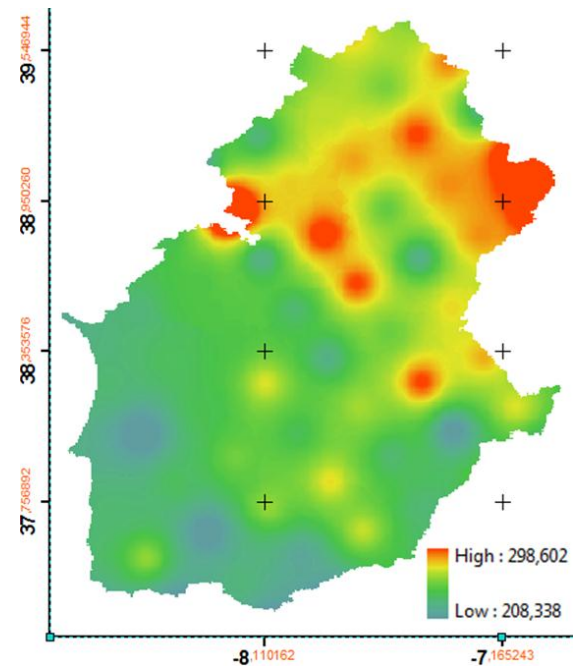


Figura A.34 - Anomalia da precipitação média anual para o modelo DMI de 25km.

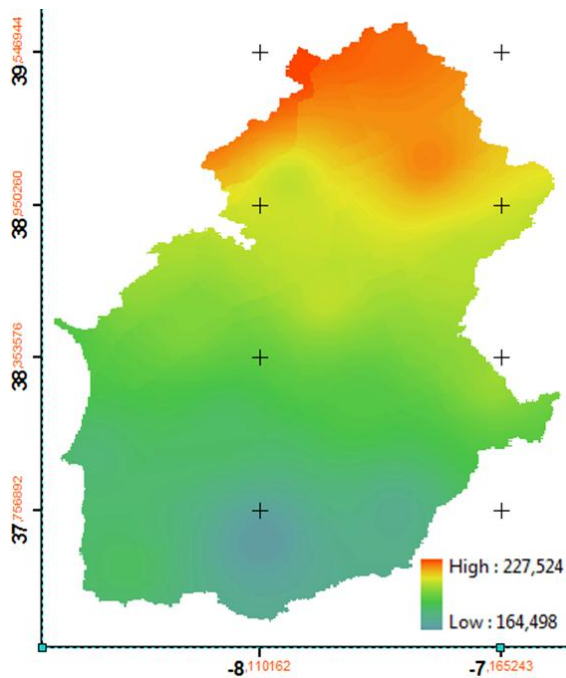


Figura A.35 - Anomalia da precipitação média anual para o modelo HCA2.

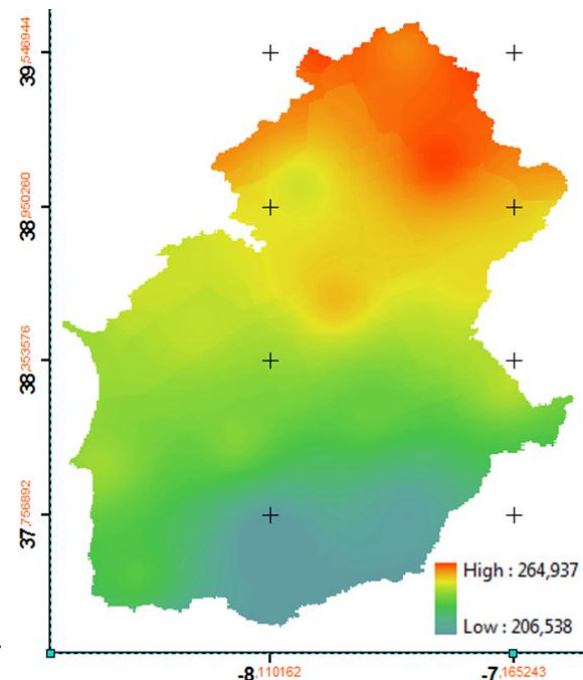


Figura A.36 - Anomalia da precipitação média anual para o modelo HCB2.

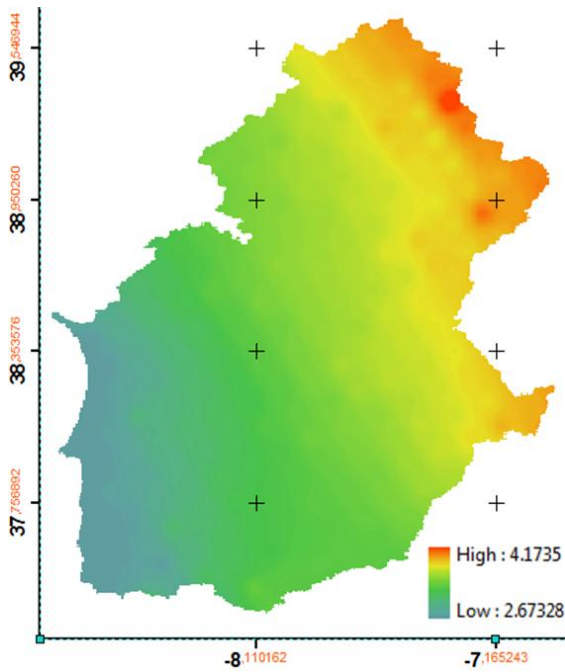


Figura A.37 - Anomalia da temperatura média anual para o modelo DMI de 12km.

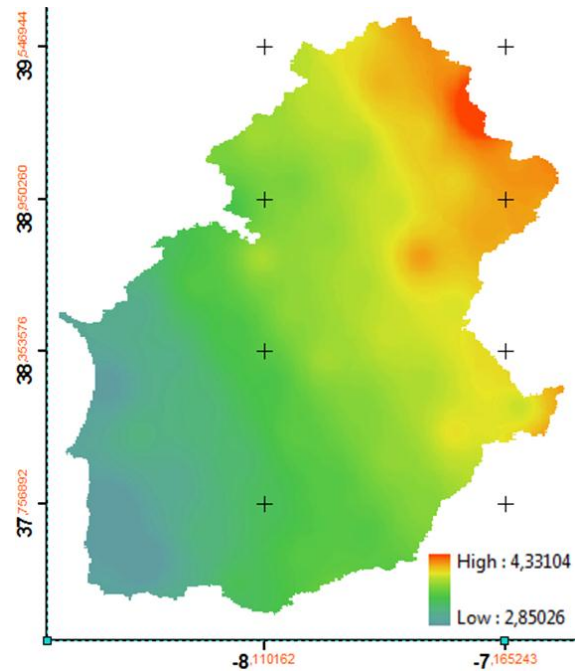


Figura A.38 - Anomalia da temperatura média anual para o modelo DMI de 25km.

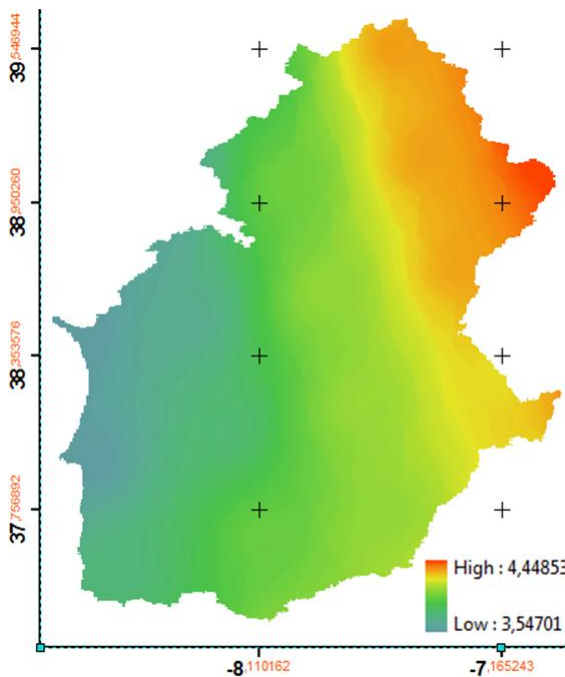


Figura A.39 - Anomalia da temperatura média anual para o modelo HCA2.

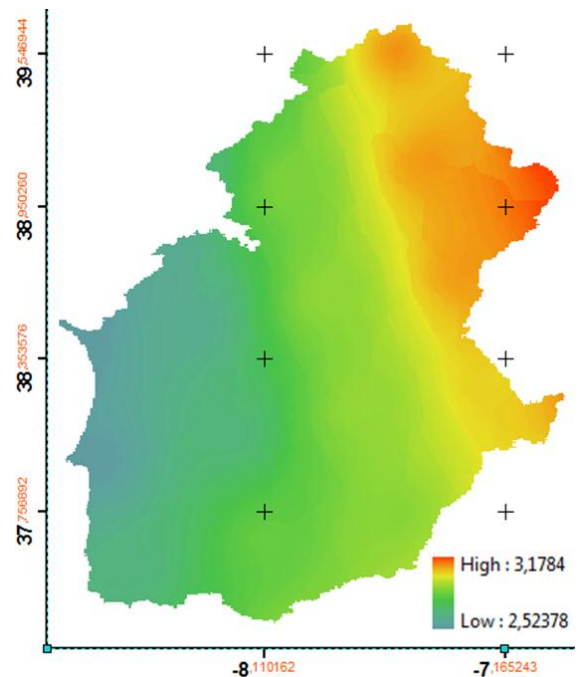


Figura A.40 - Anomalia da temperatura média anual para o modelo HCB2.

Anexo VI. Mapas das principais variáveis climáticas para o período de base

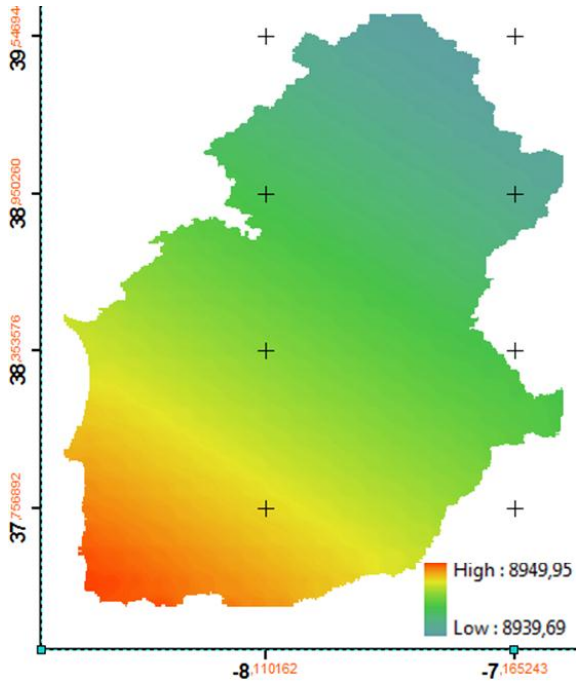


Figura A.41 - Média da temperatura máxima anual de base.

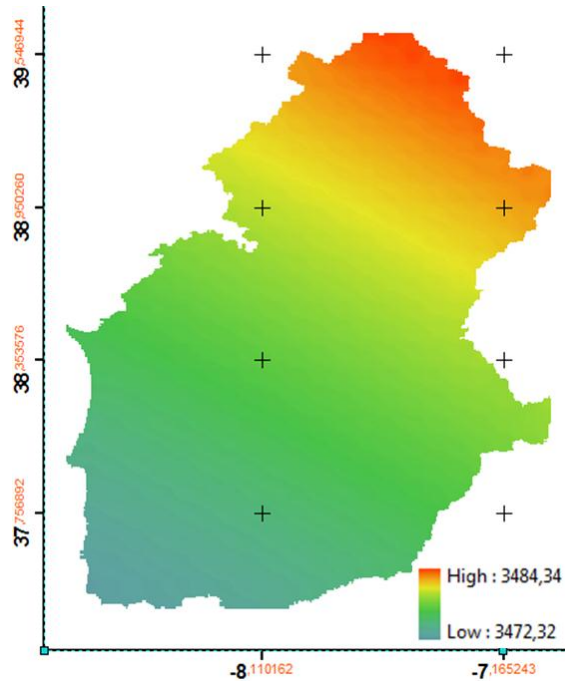


Figura A.42 - Média da temperatura mínima anual de base.

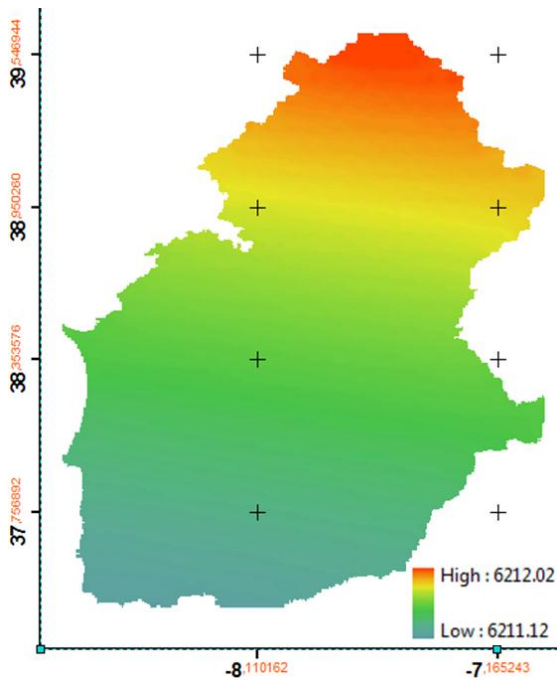


Figura A.43 - Temperatura Média anual de base.

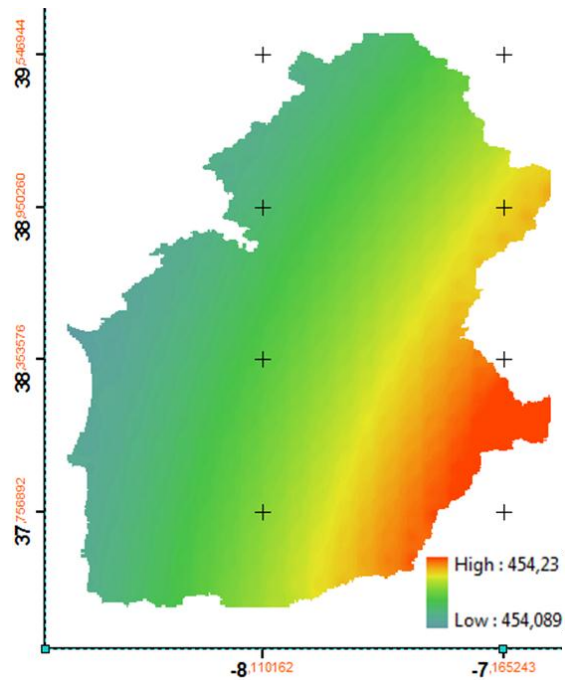


Figura A.44 - Precipitação média anual de base.

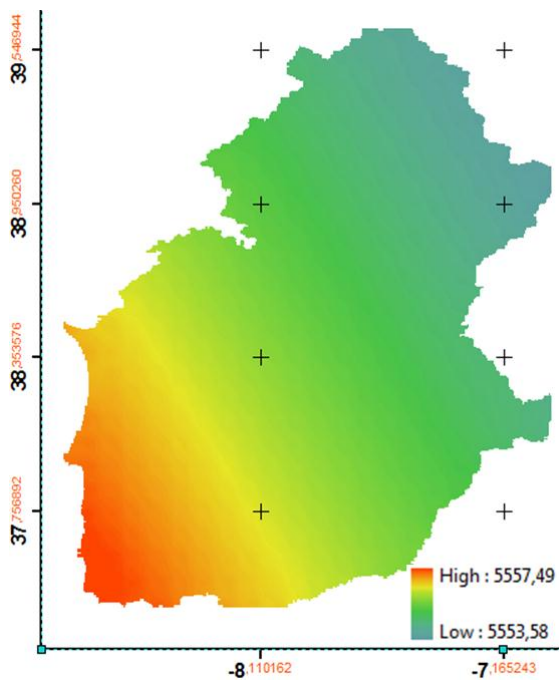


Figura A.45 - Média da temperatura máxima de base para o semestre seco.

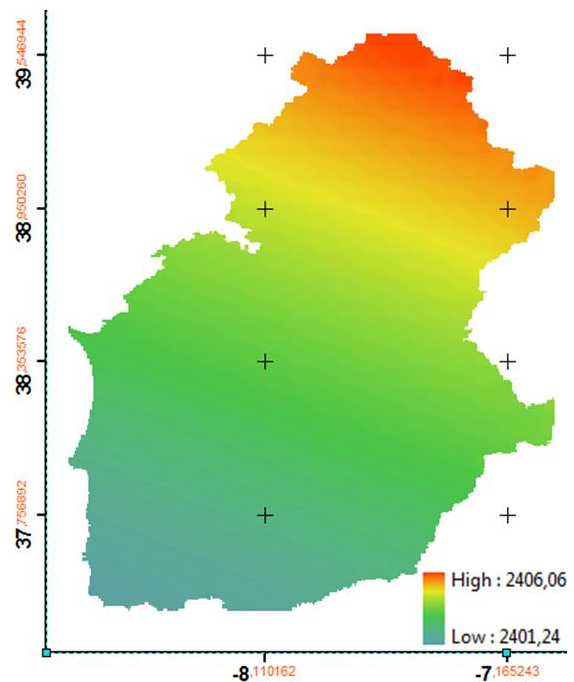


Figura A.46 - Média da temperatura mínima de base para o semestre seco.

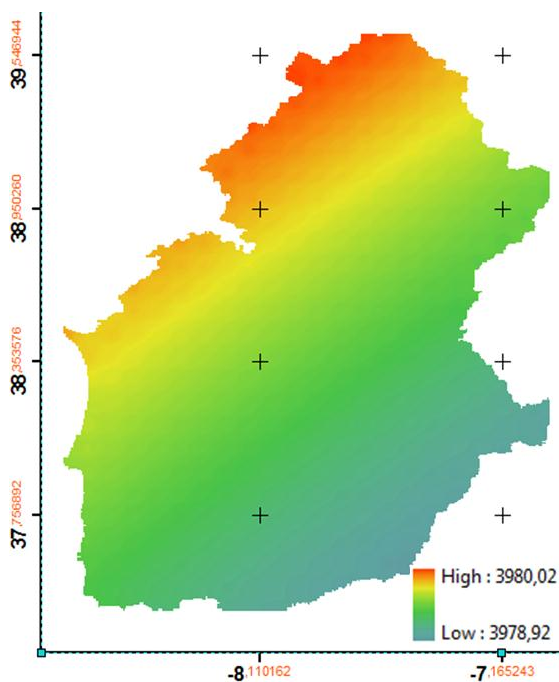


Figura A.47 - Temperatura média de base para o semestre seco.

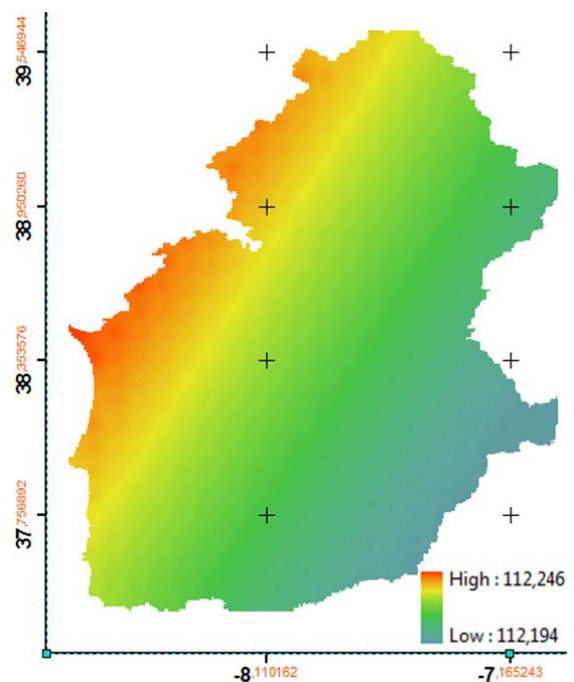


Figura A.48 - Precipitação média de base para o semestre seco.

Anexo VII. Principais mapas produzidos pelo modelo de cálculo das necessidades hídricas das culturas para os dados da rede SAGRA (2003-2007)

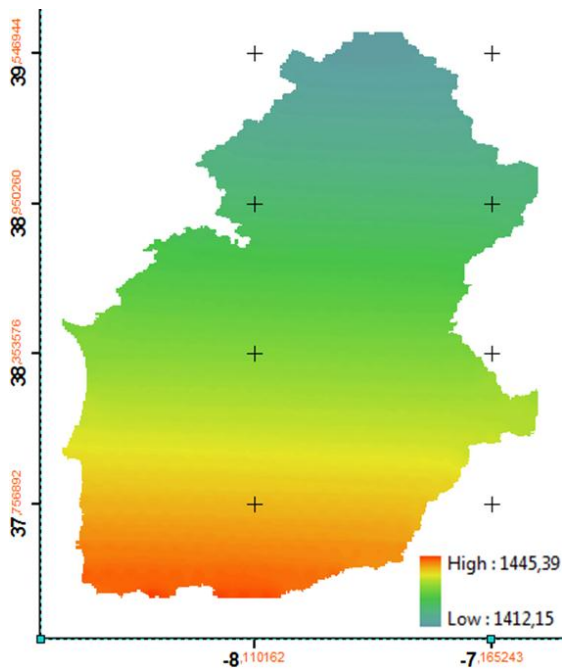


Figura A.49 - Média anual da evapotranspiração de referência de base.

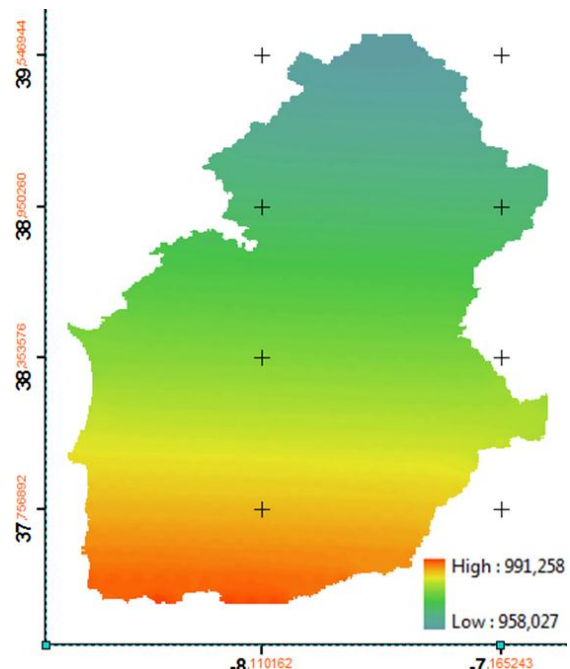


Figura A.50 - Média anual para o déficit hídrico de base.

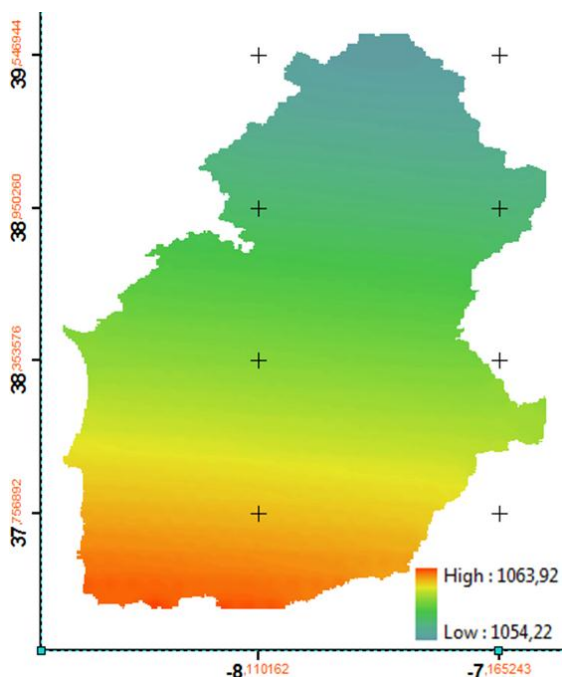


Figura A.51 - Média para o semestre seco da evapotranspiração de referência de base.

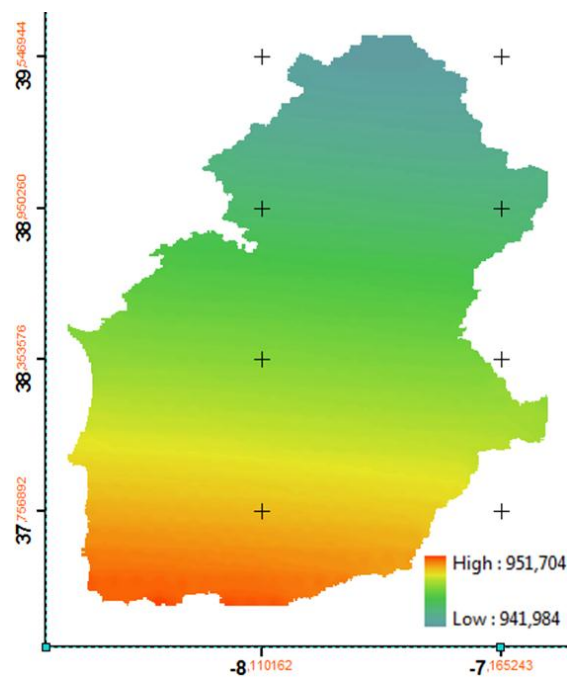


Figura A.52 - Média para o semestre seco do déficit hídrico de base.

**Anexo VIII. Artigo submetido no âmbito da conferência EFITA 2013 –
Sustainable Agriculture through ICT innovation – decorrida de
23 a 27 de Junho de 2013 em Turim (Itália)**

Sustainable Agriculture through ICT innovation

A GIS for Regional Assessment of the Climate Change Impacts on Crop Irrigation Requirements.P. Mendes¹, C. Catita², J. Rolim³, J. Teixeira³ and J. Catalão²¹Dep. Geographic Engineering, Geophysics and Energy of Faculty of Science of University of Lisbon, Campo Grande, Ed. C8, Piso 2, 1749-016 Lisbon, Portugal²Instituto Dom Luiz, University of Lisbon, Campo Grande, Ed. C8, Piso 2, 1749-016 Lisbon, Portugal.³Dep. of Sciences and Biosystems Engineering, School of Agronomy (ISA), Technical University of Lisbon, Tapada da Ajuda, 1349-017 Lisbon, Portugal; e-mail: joaorolim@isa.utl.pt.**ABSTRACT**

To perform climate change impacts studies on the crop irrigation requirements is necessary to use climate change scenarios data produced by regional climate models, which are distributed in space and have long data series (e.g. 30 years) relative to several climatic variables. It is also necessary to take into account observed meteorological data recorded in weather stations networks, to characterize the baseline scenario and to correct the bias of the climate models data. Thus, to handle large amounts of spatial distributed data it is necessary to create a geospatial database to properly manage such volumes of data. For this purpose, georeferenced data relative to soils, crops and climate (observed climate data from weather stations and climate change scenarios) must be integrated into a GIS database.

On this study a GIS application, namely GISClmReg, was developed in order to: i) perform spatial analysis on climate change scenarios data; ii) produce automatically digital maps of the most relevant climatic variables; iii) integrate the irrigation simulation models with the GIS database allowing the quantification of crop water requirements at a regional scale. The regional climate models considered on this study were: the HadRM3P (A2 and B2 scenarios) with a spatial resolution of 50 km, the HIRHAMh (A2 scenario) with a resolution of 25 km and the HIRHAMhh (A2 scenario) with a spatial resolution of 12 km. The climate models data correspond to the 2071-2100 period and were obtained from the PRUDENCE project. These data sets were complemented with observed meteorological information from SAGRA weather stations network, located in the Alentejo region (south of Portugal).

GISClmReg is able to operate over several files containing meteorological data (including the RCM models output and the weather stations data) and to automate spatial interpolation of meteorological variables. Interpolated grids resulting from that interpolation can be converted into a regularly spaced grid of 10 km resolution, creating

P. Mendes, C. Catita, J. Rolim, J. Teixeira and J. Catalão. "A GIS for Regional Assessment of the Climate Change Impacts on Crop Irrigation Requirements". EFITA-WCCA-CIGR Conference "Sustainable Agriculture through ICT Innovation", Turin, Italy, 24-27 June 2013. The authors are solely responsible for the content of this technical presentation. The technical presentation does not necessarily reflect the official position of the International Commission of Agricultural and Biosystems Engineering (CIGR) and of the EFITA association, and its printing and distribution does not constitute an endorsement of views which may be expressed. Technical presentations are not subject to the formal peer review process by CIGR editorial committees; therefore, they are not to be presented as refereed publications.

Sustainable Agriculture through ICT innovation

a kind of virtual meteorological network, were the soil water balance model can run to calculate the crop water requirements for the several climate change scenarios considered. As a result, the crop water requirements maps produced for the study region enable the assessment of the climate change impacts over the crop irrigation requirements at a regional level.

Keywords: GIS, Irrigation requirements, Simulation models, Climate change, Spatial analysis, Portugal.

1. INTRODUCTION

Assessment studies relative to the impacts of climate change on irrigated agriculture usually require long time series (e.g. 30 years) of several meteorological variables. These data series are relative to data from climate models, to assess future climate change conditions, and data from weather stations, to characterize the current situation. The climatic data produced by the regional climatic models (RCM) is spatially distributed, presenting grids with a typical spatial resolution of 50 km. RCM data generally have considerable deviations in relation to the meteorological data observed in weather stations for the same time periods. Thus, it is generally advisable to perform the bias correction of the climate change scenarios data through the calculation of the correction factors between the RCM simulated data for the control period and the observed data. There are several methods available for the correction of the RCM data series bias which can be highlighted the delta change method used in this work (Graham et al., 2007; Lenderink, 2007). Due to large volume of meteorological data it is necessary to have georeferenced databases and a GIS application to manage all these meteorological data series quickly and efficiently, performing automatically the correction of the RCM climatic data deviations.

In the scope of irrigation studies have been developed several GIS applications with the aim of assessing crop irrigation requirements at the regional level or to allow the management of water resources (Carreira, 1997; Döll, 2002; Fortes et al., 2005; Todorovic and Steduto, 2003). In these studies it is usually used a soil water balance model, which runs in a GIS environment, using a vector approach (Carreira, 1997; Fortes et al., 2005), where were defined a set of homogeneous polygons in which the simulations were performed, or using grids of data relative to climate, soil and crops (Döll, 2002; Todorovic and Steduto, 2003). Recently Todorovic et al. (2013) calculated reference evapotranspiration (ET_0) to the Mediterranean basin, through the use of the weather stations of the CLIMWAT 2.0 database (FAO, 2013), producing raster maps of the crop water requirements.

The goals of this study were:

- i. To create a geospatial database to properly manage the large amounts of spatial distributed data necessary to perform a climate change impacts assessment over the irrigated agriculture. For this purpose, georeferenced data relative to soils

C0188

P. Mendes, C. Catita, J. Rolim, J. Teixeira and J. Catalão. "A GIS for Regional Assessment of the Climate Change Impacts on Crop Irrigation Requirements". EFITA-WCCA-CIGR Conference "Sustainable Agriculture through ICT Innovation", Turin, Italy, 24-27 June 2013.

Sustainable Agriculture through ICT innovation

- and climate (observed climate data from weather stations and climate change scenarios) were integrated into a GIS database;
- ii. To develop a GIS application, with a user friendly interface, to: i) manage climate change scenarios data series automatically; ii) perform spatial analysis of the data stored in the GIS database; iii) to produce final maps of the main agrometeorological variables relevant for the irrigation purposes.
 - iii. To develop a platform to integrate the irrigation simulation models with the GIS database in order to quantify the crop water requirements on a regional scale.

The database developed in this work concerns the Alentejo region, South of Portugal, allowing the assessment of the impacts of climate change on crop water requirements, for a region highly threatened by climate change (Miranda et al., 2006; Mourato, 2009).

2. GIS DATABASE AND THE GISclimReg APPLICATION

2.1 Climate GIS Database

This work started with the construction of a GIS database, concerning the georeferenced climate data. For this purpose we used the ArcGIS tools from ESRI[®]. Climate data comprise both observed climate data from weather stations and climate change scenarios produced by the RCM models. The RCM considered in this work were: HadRM3P (A2 and B2 scenarios) with a spatial resolution of 50 km, HIRHAMh (A2 scenario) with a resolution of 25 km and HIRHAMhh (A2 scenario) with a spatial resolution of 12 km. The A2 and B2 scenarios refer to the SRES emissions scenarios defined by Nakicenovic et al. (2000). The climate models data are relative to the 2071-2100 period, with a monthly time step, and were obtained from the PRUDENCE project (Christensen, 2005). The observed meteorological data was obtained through the SAGRA weather stations network, located in the Alentejo region in Portugal (COTR, 2013). The climate variables considered were all the necessary to compute reference evapotranspiration (ET_o) using the FAO Penman-Monteith method (Allen et al., 1998) which are: solar radiation (R_s) [$MJm^{-2}day^{-1}$], maximum air temperature (T_{max}) [$^{\circ}C$], minimum air temperature (T_{min}) [$^{\circ}C$], maximum relative humidity (HR_{max}) [%], minimum relative humidity (RH_{min}) [%], average wind speed at 2m height (U_2) [ms^{-1}]. Precipitation was also considered [$mm.day^{-1}$] to perform the soil water balance.

The first step consisted on the rearrangement of the files provided by the RCM models, which had different spatial resolutions. The information provided by those models was adequately organized in a simple ascii text files. To create this new database automatically, a VBA application was developed in order to read the RCM output files and to create new files in the GIS database with a common structure for all the RCM models. Figure 1 shows the structure of the database created in a tree representation and as can be seen the original grids of the RCM models are maintained:

C0188

P. Mendes, C. Catita, J. Rolim, J. Teixeira and J. Catalão. "A GIS for Regional Assessment of the Climate Change Impacts on Crop Irrigation Requirements". EFITA-WCCA-CIGR Conference "Sustainable Agriculture through ICT Innovation", Turin, Italy, 24-27 June 2013.

Sustainable Agriculture through ICT innovation

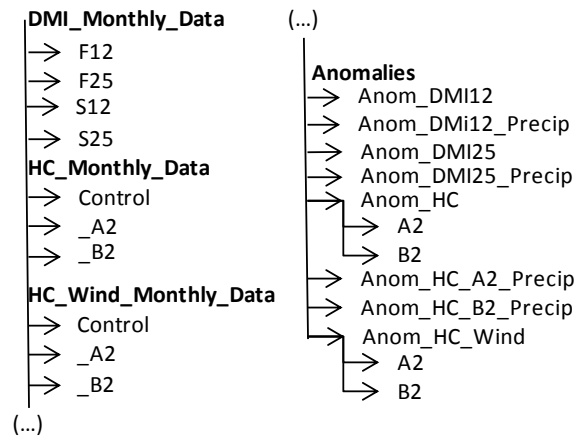


Figure 1. Representation of the GIS database tree structure.

2.2 GISclimReg Application

The GISclimReg application was developed through VBA programming language on ArcGIS. This application is able to perform spatial analysis of the RCM data and to produce automatically raster maps, generated by the spatial interpolation of the RCM grid data. GISclimReg retrieves information from the GIS database, relative to the different models grids allowing data analysis according to the parameters selected by the user (e.g. climate variable, temporal period, months, interpolation method, statistical operation, correction factor, etc.). Based on these parameters it is produced an intermediate file which is later spatially interpolated by kriging or inverse distance weighting (IDW) methods (Fig. 2). Using GISclimReg, the user can also clip the resultant interpolated surfaces using the desirable geographic limits (e.g. the administrative boundaries) (Fig. 3).

Sustainable Agriculture through ICT innovation

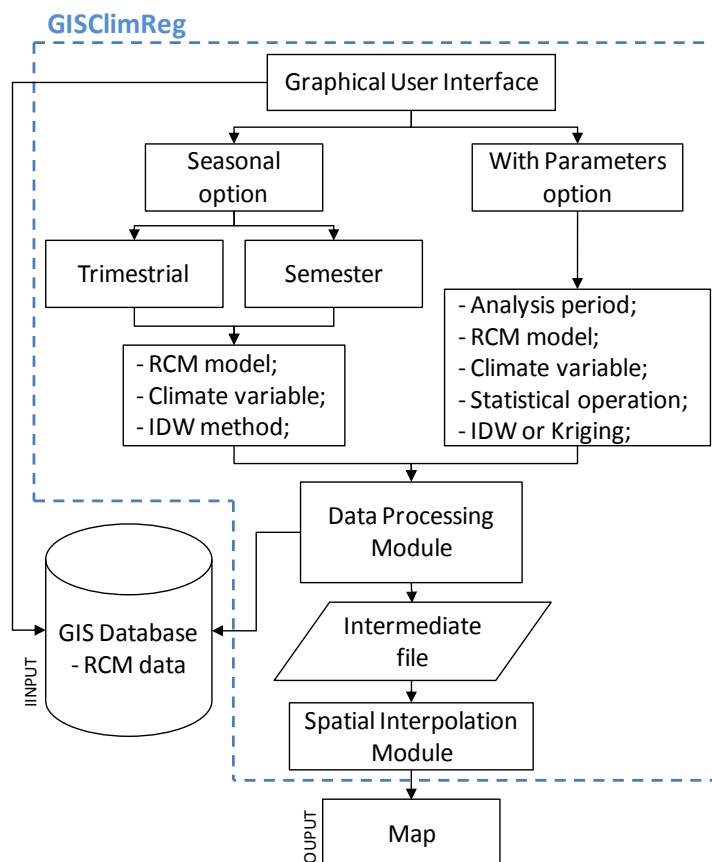


Figure 2. Flowchart of the GISClmReg application.

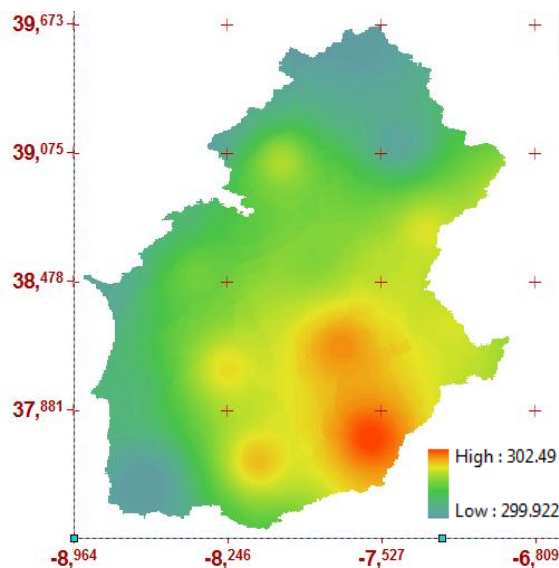


Figure 3. Maximum Temperature (K) map for the Alentejo region produced by the GISClmReg application.

C0188

P. Mendes, C. Catita, J. Rolim, J. Teixeira and J. Catalão. "A GIS for Regional Assessment of the Climate Change Impacts on Crop Irrigation Requirements". EFITA-WCCA-CIGR Conference "Sustainable Agriculture through ICT Innovation", Turin, Italy, 24-27 June 2013.

Sustainable Agriculture through ICT innovation

2.3 Models Platform

In order to run the soil water balance simulation model, a new 10km resolution grid was created to produce a regular grid points simulating a virtual weather stations network. This grid stores the information concerning to soils and to climate information. The meteorological data files, including the climate change scenarios and the observed data from the SAGRA network (COTR, 2013) were interpolated to this new grid using the Interpolator software (Rolim et al., 2011). To associate soil data to each point of the new grid (Fig. 4) was extracted the soil type from the soils map produced by the *Instituto De Desenvolvimento Rural e Hidráulica do Ministério da Agricultura, Desenvolvimento Rural e Pescas (IDRHa, 1999)*.

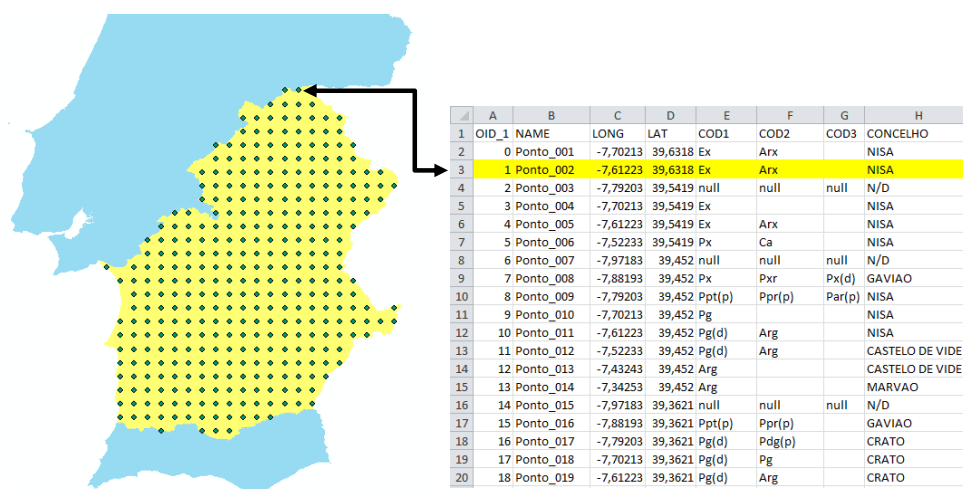


Figure 4. Soil data associated to each point of the 10 km grid.

Currently is being made the integration of a simplified soil water balance model in the GISclimReg application to calculate crop water requirements based on the 10km grid data. This model reads the climate and soil data files associated to each grid point and compute the crop water requirements, saving the results in an output file associated to that point.

3. CONCLUSIONS

On this study was developed a GIS database to store and manage the large amounts of climatic data concerning the climate change scenarios.

It was created the application GISclimReg in VBA, using ArcGIS, composed by a calculation module to perform the spatial analysis of meteorological variables stored in the GIS database, and a graphical user interface that allows the selection of the meteorological variable and of several parameters. The GISclimReg produces as final result a map of the meteorological variable under study.

C0188

P. Mendes, C. Catita, J. Rolim, J. Teixeira and J. Catalão. "A GIS for Regional Assessment of the Climate Change Impacts on Crop Irrigation Requirements". EFITA-WCCA-CIGR Conference "Sustainable Agriculture through ICT Innovation", Turin, Italy, 24-27 June 2013.

Sustainable Agriculture through ICT innovation

The GIS platform to run the soil water balance simulation model is under development, having been built a grid with a 10 km spatial resolution covering the entire region of the Alentejo. At each point of this grid is assigned a fictitious weather station, which contains the future meteorological data series interpolated for that point. Each grid point is also associated with the predominant soil type and its main characteristics. The simplified soil water balance model will operate on this grid, and is currently being integrated in the GISClmReg application. In the future this simplified soil water balance will be replaced by the IrrigRotation model (Rolim and Teixeira, 2008), that allows to compute the irrigation requirements of one given crops rotation. As further developments can be pointed the development of a WEBGIS interface that will make available the maps concerning the main results obtained with the assessment of the crops irrigation requirements for the climate change scenarios. It is also possible to predict that the conceptual framework of this GIS is likely to be adopted in other agronomic or environmental studies that need to process a large volume of spatially distributed time series.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was funded by the Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) research project "Evaluation of climate change impacts on irrigated systems and the definition of adaptation measures" PTDC/AAC-AMB/113639/2009. The authors also thank the PRUDENCE "Prediction of Regional scenarios and Uncertainties for Defining European Climate change risks and Effects" project for providing the climate change data through the PRUDENCE data archive (EVK2-CT2001-00132).

4. REFERENCES

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. *Crop Evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, FAO, Rome, Italy, 300 pp.
- Carreira, D.N.M.C., 1997. *Aplicação SIG para a gestão da água em agricultura à escala regional*. Dissertação de Mestrado em Engenharia da Rega e dos Recursos Agrícolas, Instituto Superior de Agronomia, UTL, Lisboa. 114 pp.
- Christensen, J.H., 2005. Prediction of Regional scenarios and Uncertainties for Defining European Climate change risks and Effects. Final report. DMI. 269 pp.
- COTR, 2013. SAGRA - Sistema Agrometeorológico para a Gestão da Rega no Alentejo. Available: <http://www.cotr.pt/sagra.asp>. Access: May 2009.
- Döll, P., 2002. Impact of climate change and variability on irrigation requirements: a global perspective. *Clim. Change* 54:269-293.
- FAO, 2013. CLIMWAT 2.0 for CROPWAT. Available: http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_climwat.html. Access: May 2013.
- Fortes, P.S., Platonov, A.E., Pereira, L.S., 2005. GISAREG - A GIS based irrigation scheduling simulation model to support improved water use. *Agric. Water Management*, 77: 159-179.

C0188

P. Mendes, C. Catita, J. Rolim, J. Teixeira and J. Catalão. "A GIS for Regional Assessment of the Climate Change Impacts on Crop Irrigation Requirements". EFITA-WCCA-CIGR Conference "Sustainable Agriculture through ICT Innovation", Turin, Italy, 24-27 June 2013.

Sustainable Agriculture through ICT innovation

- Graham, L.P., Andréasson, J., Carlsson, B., 2007. Assessing climate change impacts on hydrology from an ensemble of regional climate models, model scales and linking methods – a case study on the Lule River basin. *Climatic Change*, 81:293–307.
- IDRHa, 1999. Cartas de Solos e de Capacidade de Uso do Solo. Available: <http://www.dgadr.pt/cartografia/cartas-solos-cap-uso-analogico>. Access: May 2013.
- Lenderink, G., Buishand, A., van Deursen, W., 2007. *Estimates of future discharges of the river Rhine using two scenario methodologies: direct versus delta approach*. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 11(3): 1145-1159.
- Miranda, P.M.A., Valente, M.A., Tomé, A.R., Trigo, R., Coelho, M.F.E.S., Aguiar, A., Azevedo, E.B., 2006. O clima de Portugal nos séculos XX e XXI. In: *Alterações Climáticas em Portugal. Cenários Impactos e Medidas de Adaptação – Projecto SIAM II*, F:D: Santos e P. Miranda (eds.), pp. 45-113. Gradiva, Lisboa.
- Mourato, S.J.M., 200. *Modelação do impacte das alterações climáticas e do uso do solo nas bacias hidrográficas do Alentejo*. Doutoramento em Engenharia Civil. Universidade de Évora. 307 pp.
- Nakicenovic, N., Alcamo, J., Davis, G., de Vries, B., Fenhann, J., Gaffin, S., Gregory, K., Gru'bler, A., Jung, T.Y., Kram, T., La Rovere EL, Michaelis, L., Mori, S., Morita, T., Pepper, W., Pitcher, H., Price, L., Raihi, K., Roehrl, A., Rogner, H., Sankovski, A., Schlesinger, M., Shukla, P., Smith, S., Swart, R., van Rooijen, S., Victor, N., Dadi, Z., 2000. *IPCC Special report on emissions scenarios*. Cambridge University Press, Netherlands
- Rolim, J. e Teixeira, J., 2008. IrrigRotation, a time continuous soil water balance model. *WSEAS TRANSACTIONS on ENVIRONMENT and DEVELOPMENT*, 4(7): 577-587.
- Rolim, J., Catalão, J., Teixeira, J.L., 2011. The influence of different methods of interpolating spatial meteorological data on calculated irrigation requirements. *Applied Engineering in Agriculture*, 27(6): 979-989.
- Todorovic, M., Steduto P., 2003. A GIS for irrigation management. *Physics and Chemistry of the Earth* 28: 163-174.
- Todorovic, M., Karic, B., Pereira, L.S., 2013. Reference evapotranspiration estimate with limited weather data across a range of Mediterranean climates. *Journal of Hydrology*. 481: 166-176.

C0188

P. Mendes, C. Catita, J. Rolim, J. Teixeira and J. Catalão. "A GIS for Regional Assessment of the Climate Change Impacts on Crop Irrigation Requirements". EFITA-WCCA-CIGR Conference "Sustainable Agriculture through ICT Innovation", Turin, Italy, 24-27 June 2013.